



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

DÁLKOVĚ OVLÁDANÁ TERÉNNÍ ČTYŘKOLKA

REMOTE-CONTROLLED CROSS-COUNTRY FOUR-WHEELER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Kejzlar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

BRNO 2020



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Radim Kejzlar **ID:** 203248 **Ročník:** 3 **Akademický rok:** 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Dálkově ovládaná terénní čtyřkolka

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a zkonstruuje terénní závodní čtyřkolové vozítko. Předpokladem je schopnost dosažení solidní rychlosti i přes překážky. Vozítko bude možné ovládat pomocí smartphone nebo tabletu s velmi dobrou koordinací pohybu a schopností minimalizovat možnost překlopení vozítka, pokud najede na překážku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 8.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na kompletní návrh a realizaci RC vozidla ovládaného pomocí chytrého zařízení s operačním systémem Android pomocí komunikace Bluetooth. Čtyřkolka je navrhována v souladu s požadavky interaktivní herny VUT FEKT, kam je toto vozidlo určeno. Práce se zabývá jak částí elektrickou, tak částí programovou a mechanickou. V elektrické části zahrnuje kompletní výběr a popis pohonu, realizovaného pomocí BLDC motoru a jeho regulátoru. Regulátor je ovládán pomocí řídicí jednotky ve formě mikrořadiče rodiny AVR, který zároveň zpracovává přijímaná data z komunikace Bluetooth. Součástí návrhu je také vhodný výběr akumulátoru technologie Li-Pol a jeho kapacity. V programové části je řešen vývoj aplikace pro OS Android pomocí vývojové platformy Mit App Inventor 2 a v mechanické části je rozebírán podvozek, využitý pro RC čtyřkolku a konstrukční řešení celého návrhu.

KLÍČOVÁ SLOVA

RC vozidlo, BLDC, Regulátor, HC-05, AVR, ATMEGA, Bluetooth

ABSTRACT

The bachelor's thesis focuses on the complete design and implementation of an RC vehicle controlled by a smart device with the OS Android using Bluetooth communication. The RC four-wheeler is designed in accordance with the requirements of the BUT FEKT interactive gaming room, where this vehicle is intended. The work deals with the electrical, the program and mechanical part. The electrical part includes a complete selection and description of the drive, implemented using a BLDC motor and its controller. The controller is controlled by a control unit in the form of a microcontroller from the AVR family, which also processes the received data from Bluetooth communication. The design also includes a suitable selection of the Li-Pol technology battery and its capacity. The program part deals with the development of an application for the Android OS using the Mit App Inventor 2 development platform, and in the mechanical part the chassis used for the RC four-wheeler and the design solution of the entire design are discussed.

KEYWORDS

RC vehicle, BLDC, Controller, HC-05, AVR, ATMEGA, Bluetooth

KEJZLAR, R. *Dálkově ovládaná terénní čtyřkolka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2020. 41 s., 10 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Háze, Ph. D..

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiří Házemu, Ph.D. za metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji mému kolegovi Martinu Mikulkovi za cenné rady při řešení elektrické části.

V Brně dne: **30.května 2020**

.....
podpis autora

OBSAH

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	x
ÚVOD	1
1 TEORETICKÝ ROZBOR	2
1.1 RC modely	2
1.2 Historie RC modelů.....	2
1.3 BLDC Motor	3
1.3.1 Základní princip činnosti	4
1.3.2 Řízení	5
1.4 Regulátor	6
1.5 Baterie	7
1.5.1 Technologie NiMH	7
1.5.2 Technologie Li-ion	8
1.5.3 Technologie Li-Pol	8
1.6 Zacházení s bateriemi technologie Li-Pol.....	9
1.6.1 Nabíjení.....	10
1.7 Servomotor zatáčení.....	11
1.8 Řídicí jednotka	12
1.8.1 Mikrořadič ATMEGA 328P	12
1.9 Komunikace Bluetooth.....	14
1.9.1 Bluetooth modul HC-05.....	15
1.10 Podvozek	16
1.11 Kola	16
1.12 Převodové ústrojí.....	17
2 KONSTRUKCE ELEKTRICKÉ ČÁSTI.....	18
2.1 Funkční blokové schéma.....	18
2.2 Řídicí jednotka	19
2.3 BLDC motor a regulátor	19
2.3.1 Programovatelná karta regulátoru.....	20
2.4 Baterie	21

2.5	Nabíjecí stanice pro Li-Pol.....	21
2.6	Elektrické schéma zapojení.....	22
2.7	Výběr komponent pro desku plošných spojů	23
2.7.1	Výpočet rezistorů	23
2.8	Návrh a výroba desky plošných spojů	25
3	PROGRAMOVÁ ČÁST	26
3.1	Mobilní aplikace.....	26
3.1.1	Program aplikace	29
3.2	Program řídicí jednotky.....	30
4	KONSTRUKCE MECHANICKÉ ČÁSTI.....	32
4.1	Podvozek HIMOTO	33
5	ZÁVĚR	36
	Literatura.....	38
	Seznam Symbolů veličin a zkratk	40

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 - BLDC Motor [2]	3
Obrázek č. 2 - Základní uspořádání BLDC motoru s 6ti póly [3]	4
Obrázek č. 3 - Graf závislosti spínání fází na měření polohy statoru [5]	5
Obrázek č. 4 - BLDC regulátor motoru [4]	6
Obrázek č. 5 - NiMH akumulátor pro RC modely 1600 mAh [10].....	7
Obrázek č. 6 - Li-Pol akumulátor 5000 mAh pro RC modely [11]	9
Obrázek č. 7 – umístění pákového mechanismu v RC vozidlech	11
Obrázek č. 8 - Velmi populární mikrořadič ATMEGA 16 v THT pouzdře [12].....	12
Obrázek č. 9 - Vývody mikrořadiče ATmega328p [14].....	14
Obrázek č. 10 - Bluetooth modul HC-05 [16]	15
Obrázek č. 11 - Ovládací piny modulu HC-05 (upraveno) [16]	15
Obrázek č. 12 – Diferenciál při shodně otáčejících se nápravách [20].....	17
Obrázek č. 13 – Diferenciál při jedné zastavené nápravě [20]	17
Obrázek č. 14 - Funkční blokové schéma RC vozidla.....	18
Obrázek č. 15 - BLDC motor BH Power 2430 [2]	20
Obrázek č. 16 - Regulátor k motoru 2430 25 A [2]	20
Obrázek č. 17 - Baterie Li-Pol společnosti NANO-Tech 5500 mAh [2]	21
Obrázek č. 18 - Nabíječka Li-Pol baterií Imax B6 80W [2].....	22
Obrázek č. 19 – Schéma pro výpočet předních světel	23
Obrázek č. 20 – Schéma pro výpočet zadních světel.....	24
Obrázek č. 21 – Vyrobená DPS od výrobce JLCPCB	26
Obrázek č. 22 – Uživatelské rozhraní MIT App inventor 2	27
Obrázek č. 23 – Původní aplikace s náklonem	28
Obrázek č. 24 – Finální verze aplikace bez náklonu	28
Obrázek č. 25 – Demontovaný podvozek HIMOTO“.....	33
Obrázek č. 26 – upevnění motoru a konstrukčního prvku	34
Obrázek č. 27 – Rozložení elektroniky na podvozků.	34
Obrázek č. 28 – Karoserie RC čtyřkolky – spodní pohled	35

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 – hodnoty napětí stavů Li-Pol baterie	10
Tabulka č. 2 – Vybrané parametry ATMEGA 328P [13].....	13
Tabulka č. 3 – 8bitová komunikace aplikace s Bluetooth modulem	30

ÚVOD

Rozvojem elektrotechniky a konstrukce zařízení se začal rozvíjet nový koníček ve formě rádiem ovládaných zmenšenin dopravních prostředků lidstva. Snahou bylo vždy co nejvěrněji interpretovat vzhled vozidel a jejich funkčnost. Opravdovou revoluci přinesl vynález bezkartáčových motorů (BLDC).

Bakalářská práce se zabývá kompletním návrhem RC čtyřkolového vozítka ovládaného pomocí chytrého telefonu přes komunikaci Bluetooth. Práce řeší kompletní návrh jak části elektrické, tak části mechanické. RC čtyřkolka má být vhodné do terénu pro efektivní překonávání větších překážek a musí být vhodné pro interaktivní hru VUT FEKT.

V části teoretický úvod jsou projednávány různé koncepce možností konstrukce elektrické a mechanické části RC vozidla. Popsány tu jsou různé druhy motorů a jejich řízení společně s mikrořadičem a bateriemi. U baterií jsou rozebírány různé druhy použitelných technologií. Speciálně pro baterie technologie Li-Pol obsahuje postup při zacházení s touto technologií.

V druhé části elektrické konstrukce vozidla je uváděn postup, jakým způsobem byly vybírány komponenty pro elektroniku RC čtyřkolky. Tato část se také zabývá návrhem desky plošných spojů se samotnou výrobou a výpočtem potřebných součástek obvodu.

Ve třetí části s názvem programová část je řešena samotná aplikace pro operační systém Android. V této části je i poukázáno na vývojové prostředí, ve kterém byla aplikace vytvořena. Na konci této části je popsán program pro řídicí jednotku ATMEGA 328P, napsaný v jazyce C.

Poslední část pojmenovaná konstrukce mechanické části popisuje vybraný podvozek pro RC čtyřkolku a zároveň řeší umístění jednotlivých komponentů na tento podvozek s ohledem na dobrou přístupnost v rámci údržby baterií a elektroniky.

1 TEORETICKÝ ROZBOR

Teoretický rozbor se zabývá teoretickým pojednáním o významu RC modelů a výběru komponent pro elektrickou a mechanickou část. Dále jsou zde rozebírány parametry jednotlivých elektronických částí pro správný výběr optimálních komponentů.

1.1 RC modely

RC (z anglického Radio Controlled) modely jsou dálkově ovládané zmenšeniny dopravních prostředků, používaných v lidské společnosti. Na světě existují modely aut, vrtulníků, letadel, terénních vozidel, lodí, výzkumných vozítek atd. Využití těchto modelů lze uplatnit jak ve vědeckém výzkumu, tak ve vojenství a v neposlední řadě i pro zábavu. Samotný model obsahuje několik základních částí: pohonnou jednotku, regulátor, řídicí elektroniku, bateriový systém, vysílač-přijímač a samotnou konstrukci.

Speciální a zároveň nejrozšířenější podskupinu RC modelů tvoří RC auta. Ty jsou určena pro různé aplikace: Závodní, terénní, modelářská... Vyznačují se schopností rychle překonávat zemský povrch (ať už rychlostí či překonáváním překážek). Snahou je taktéž co nejvěrněji napodobit styl jízdy daného modelu a vzhledu kolového vozidla.

Terénní RC auta jsou typická schopností efektivně překonávat překážky. To bývá dosaženo vysokým kroutícím momentem na úkor rychlosti, systémem odpružení, velkými terénními koly a schopností nepřevrátit se (nízko položené těžiště). Dále mohou být vybaveny vícero motory, které zajišťují plynulejší průjezd terénem a ve většině případů i zatačení. Je možné také pojmout terénní auto jako všestranné nepřevratitelné vozidlo, které když se převrátí, tak díky jeho přesahu kol dokáže jet i „po střeše“. Tento typ RC modelů bývá velmi spolehlivý a minimalizuje se varianta, že se převrátí do nepojízdného stavu.

1.2 Historie RC modelů

Samotný vývoj RC modelů je velmi silně ovlivněn vývojem lidské techniky, speciálně potom vývojem elektroniky. Předchůdci dnešních RC modelů byli značně ovlivněni tehdejším pokrokem v elektronice. Nejzásadnější milníky ve vývoji RC modelů jsou potom svázány s pohonnou jednotkou, regulátorem a bateriovým systémem

Před příchodem střídavých BLDC motorů byly využívány motory stejnosměrné (DC) a ještě dříve motory spalovací. Spalovací motory dosahovaly velmi dobrých výsledků. Nicméně díky jejich poměrně náročné regulaci byly postupem času zaměněny za motory stejnosměrné. Ty vykazovaly již podstatně lepší způsoby regulace (PWM, napěťová regulace), nicméně byly stále málo účinné. Skutečnou revoluci však způsobily BLDC motory, které vykazují velmi dobrou účinnost, velké možnosti regulace otáček a odpadá u nich potřeba měnit kartáče po určité době.

Bateriový systém doznal taktéž velkých technologických skoků v oblasti účinnosti, vybíjecích proudů, kapacity a váhy. V dnešních RC modelech se ve valné většině využívají bateriové články typu Li-Pol a Li-ion. Ty excelují v těchto zmíněných parametrech. V některých starších typech RC vozidel můžou být instalovány akumulátory typu NiMH nebo NiCd. V aplikacích s DC motory jsou tyto baterie dostačující a výrobce tak snižuje cenu vozidla.

Vlivem stále se zdokonalujících pohonných jednotek a příchodem BLDC motorů bylo žádoucí vytvářet stále sofistikovanější řídicí systémy motorů. V dnešní době je již na trhu k sehnání velké množství regulátorů DC a BLDC motorů umožňující velmi propracovanou a plynulou regulaci.

1.3 BLDC Motor

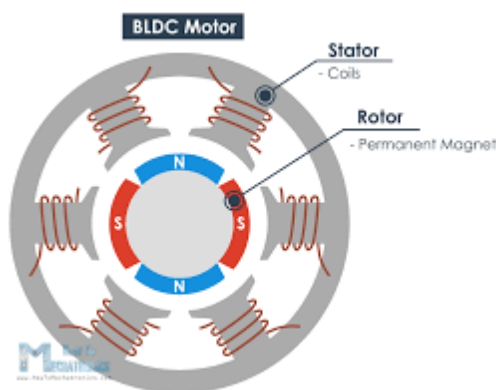
BLDC motor (z anglické zkratky Brushless DC) je synchronní typ motoru. Nevzniká na něm tedy skluz neboli řídicí frekvence je synchronní s frekvencí otáček. Z názvu je patrné, že motor neobsahuje komutátor. Problematika uvedené komutace je u moderních BLDC strojů řešena tzv. elektronickou komutací. Nejde zde o řešení klasické komutace elektronickými systémy, ale nedílnou součástí BLDC motoru je elektronická jednotka, nejlépe integrovaná do konstrukce motoru, která řídí napájení jednotlivých vinutí statoru.^[6]



Obrázek č. 1 - BLDC Motor [2]

1.3.1 Základní princip činnosti

BLDC motor obsahuje několik pólových dvojic cívek, které jsou rovnoměrně rozloženy na statoru okolo rotoru, tvořeného permanentním magnetem. Vlivem přepínání jednotlivých fází (cívek) dochází k vytváření silového působení magnetického pole sepnuté cívky na permanentní magnety rotoru. Rotor je poté uháněn těmito silami (odpudivými i přitažlivými). Proto se mu také někdy říká motor střídavý a pro jeho řízení je nutný několika-fázový střídač (regulátor) podle počtu cívek. Velká výhoda tohoto motoru je, že celý motor je řízen pulzně (nižší spotřeba) a motor nemá kartáče, které by se časem opotřebovaly. Velmi nespornou výhodou je také vysoká účinnost nad 80 %. Otočné části jsou realizovány ložisky, které u některých motorů lze vyměňovat za nové.



Obrázek č. 2 - Základní uspořádání BLDC motoru s 6ti póly [3]

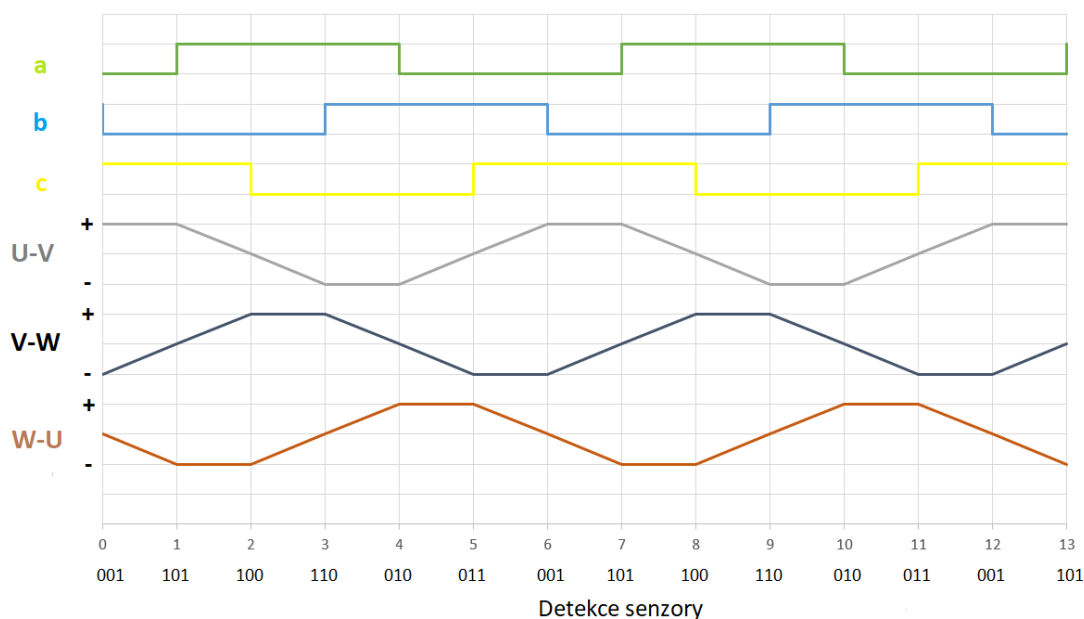
Zde je výčet důležitých parametrů BLDC motoru při výběru

- počet cívek [-],
- maximální proud [A],
- stálý proud (pulzní) [A],
- maximální napětí [V], počet článků baterie,
- Otáčky na napětí [ot. /V],
- maximální výkon [W].

Základním parametrem je počet cívek, který určuje způsob řízení celého motoru a počet kroků fází jedné otáčky. Maximální proud udává maximální proudový odběr motoru při extrémních situacích motoru (počáteční rozběh, velké mechanická zátěž). Při dlouhodobém překročení parametru dochází ke spálení vinutí. Stálý proud je střední hodnota pulzního proudu při přepínání fází motoru. Maximální napětí udává napětí nepřesahující práh zničení motoru velkým proudem vlivem odporu cívky. Společně s ním jsou psány otáčky na jeden volt, které jsou hlavní metodou regulace. Někdy bývá udáván i celkový výkon motoru.

1.3.2 Řízení

Pro řízení BLDC motoru je nutné použít sofistikované elektroniky, která dokáže spínat fáze ve správném pořadí vzhledem k poloze rotoru. Lepší motory mívají ve svém těle zabudovány Halovy sondy, které měří aktuální polohu rotoru a tím zajišťují správné počáteční sepnutí cívek. Tyto motory lze na trhu sehnat pod pojmem BLDC motory se senzory (Sensor BLDC). Všechny tyto operace řídí BLDC regulátor, který monitoruje polohu rotoru a spíná jednotlivé fáze. Motory lze regulovat dvěma způsoby. Vzhledem k tomu, že BLDC motor je synchronní, první regulace je pomocí frekvence střídání jednotlivých napájecích fází, jak ukazuje následující obrázek. Fáze jsou značeny U, V, W a polohy statoru a, b, c.



Obrázek č. 3 - Graf závislosti spínání fází na měření polohy statoru [5]

Druhou metodou je potom regulace napětí a tím otáček motoru. Při velkém přetížení je nutné toto napětí udržovat na vysoké hodnotě pro dosažení požadovaného výkonu za nízkého proudu (možné spálení vinutí).

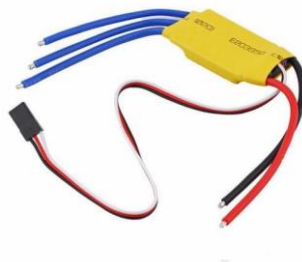
Brzdění u BLDC motorů je prováděno, jako u většiny synchronních motorů, pomocí vhánění protiproudu do pólových dvojic cívek. Vlivem magnetického pole opačného smyslu jsou odpuzovány magnety rotoru a tím motor přibrzděn. To zajišťuje velmi rychlé brzdění, nicméně za cenu proudových rázů pro elektroniku a cívky (motor se více zahřívá). Druhým způsobem brzdění je snižování budicího napětí již zmíněných pólových dvojic cívek. Toto brzdění je méně náročné na elektroniku, avšak bývá méně účinné. Z důvodu časového zpoždění mezi okamžikem chtěného zabrzdění a skutečného zabrzdění je nutné s tímto jevem počítat v řídicí logice BLDC motoru.

1.4 Regulátor

Regulátorů BLDC motorů je dnes na trhu velké množství. Pro RC modeláře fungují jako součást stavebnice RC vozidla. Regulátor vždy obsahuje výstupy pro BLDC motor, napájecí svorky pro připojení baterií, vypínač, a vstup pro příjem ovládacího signálu přijímače. Pokud je motor se senzory, pak regulátor obsahuje vstupy pro připojení Hallových sond. K většině regulátorů je potom dodávána programovací karta, která zajišťuje počáteční nastavení. Zde je možné nastavit po připojení před startem motoru rychlosti otáčení v opačném směru (vzad), maximální brzdou sílu, vypínací napětí kvůli ochraně baterie před vybitím atd. Regulátory bývají ovládány pomocí PWM signálu v nejčastěji používané periodě změny střídání 1–2 ms (500–1000 Hz). Regulátory pro BLDC motory mají tyto vlastnosti

- senzorový/ bez senzorový,
- maximální výstupní proud [A],
- napájecí napětí [V], počet článků baterie,
- řídicí signál PWM (délka pulsů) [s, Hz].

Důležitou vlastností BLDC regulátorů je schopnost reagovat na data ze senzorů pro možnost zjišťovat pozici rotoru na úkor cívek. Maximální výstupní proud udává, jakým proudem může být maximálně tento regulátor zatěžován. Většinou má regulátor vlastní proudovou limitaci. Napájecí napětí bývá u komerčních regulátorů udáváno v článkách baterie použité technologie z důvodu určení těchto zařízení do elektricky soběstačných zařízení (napájení z baterie). Řídicí signál je potom PWM signál o určitých šířkách pulsů a dané frekvenci. Některé regulátory mohou být přepnuty do programovatelného módu pomocí programovací karty.



Obrázek č. 4 - BLDC regulátor motoru [4]

1.5 Baterie

Baterie jsou důležitou a částečně i nebezpečnou součástí RC vozidla. Zajišťují elektrickou energii bez potřeby napájet čtyřkolku externími přívody. Nevýhodou baterií je jejich omezená výdrž a možnost vzplanutí (v některých případech i bez přístupu kyslíku). Zde je výčet důležitých parametrů

- kapacita,
- poměr rozměry / váha / kapacita / cena,
- velikost vybíjecího proudu,
- velikost nabíjecího proudu (rychlost nabíjení),
- napětí na článek,
- počet článků,
- vedlejší efekty (paměťový, efekt líné baterie),
- životnost (počet nabíjecích a vybíjecích cyklů),
- míra samovybíjení.

Nejdůležitějším parametrem je kapacita samotné baterie a poměr rozměrů a váhy v závislosti na zmíněné kapacitě a v neposlední řadě i ceně. Různé technologie nabízí velmi velké kapacity, avšak vzhledem k rozměrům pro RC vozidla nevhodné. Pro BLDC motory jsou velmi důležité velké vybíjecí proudy vzhledem k nízkému napětí jednotlivých článků. U každé baterie je udáváno napětí na článek a počet článků. Dnešní trh nabízí jako nejlepší alternativy těchto parametrů baterie technologie NiMH, Li-ion a Li-Pol speciálně vhodné pro RC modely.

1.5.1 Technologie NiMH

Kladná elektroda je vyrobena z hydroxid niklu, záporná z různých slitin kovů. Elektrolytem je zde hydroxid draselný. Jeden článek má napětí 1,2 V. Velká nevýhoda těchto baterií tkví v paměťovém efektu (menší než u NiCd) a efektu líné baterie. Efekt líné baterie se projevuje nestandardním chováním baterie, a to i při úplném nabití. Paměťový efekt vzniká částečným vybitím baterie a následnou ztrátou kapacity. Tyto články je třeba jednou za čas úplně vybit pro obnovení plné funkce. Další nevýhodou je velmi rychlá ztráta energie po 24 h, a to až o 6–16 % energie^[7]. Tyto články jsou z hlediska rozměrů, váhy a výsledné kapacity výhodné.



Obrázek č. 5 - NiMH akumulátor pro RC modely 1600 mAh [10]

1.5.2 Technologie Li-ion

Kladná elektroda je vyrobena z lithiokobaltového oxidu, záporná elektroda z uhlíku (grafit). Elektrolyt je tvořen agresivními rozpouštědly (propylen nebo ethylenkarbonát). Jeden článek má napětí 3,6 V. Technologie Li-ion je dnes hojně využívaná technologie především v mobilních telefonech a elektromobilech. Oproti článkům NiMH u těchto baterií odpadá negativní paměťový efekt a efekt líné baterie. Baterii je proto možné nabíjet libovolně z téměř jakéhokoli stavu nabití. Tyto baterie by neměly být úplně vybity nebo naopak přebity. Pokud nastane úplné vybití, akumulátor bývá zničen (snížená kapacita, nafouknutí). Při přebíjení může akumulátor vyvolat požár (a to i bez přístupu kyslíku). Jejich nespornou výhodou je i 3x vyšší napětí na jeden článek. Díky jejich nebezpečným extrémním stavům je potřeba docílit sofistikované kontroly a nabíjení těchto článků. Po stovkách cyklů tyto akumulátory pomalu ztrácí svou kapacitu. Tyto akumulátory je dnes možné vidět ve všech moderních zařízeních díky podstatně menší pořizovací ceně než u technologie Li-Pol a dostatečným vybíjecím proudům s vysokým napětím na článek. Největší využití mají v mobilních telefonech a elektricky poháněných dopravních prostředcích (elektromobily, elektrokola)

1.5.3 Technologie Li-Pol

Kladná elektroda je vyrobena z lithiokobaltového oxidu, záporná elektroda z uhlíku (grafit). Elektrolyt je pak tvořen pevným polymerem. Napětí na jeden článek je 3,6 V. Tyto baterie vykazují podobné vlastnosti jako baterie typu Li-ion. Na rozdíl od Li-ion baterií, Li-pol mají podstatně větší vybíjecí proudy a lepší poměr váha / kapacita. Nicméně tato vlastnost je na úkor většího objemu baterie a vyšší ceny (cena se stále snižuje). Vybíjecí proudy bývají v řádech stovek A. Je otázkou času, kdy bude technologie Li-Pol zdokonalena nebo vynalezen nový typ baterií. Zatím jsou však tyto baterie to nejlepší, co lze na trhu získat. Výhody technologie Li-Pol jsou

- výborný poměr váha / kapacita,
- velké vybíjecí proudy v závislosti na kapacitě (stovky A),
- velká rychlost nabíjení,
- vysoké napětí na článek,
- žádný paměťový efekt a efekt líné baterie,
- vysoká životnost (velký počet nabíjecích cyklů),
- malé samovybíjení (max. 5 % /měsíc).

Nevýhody, které však nepřevyšují výhody

- nesnáší extrémní stavy (vybití a přebití),
- větší objem než u Li-ion,
- složité nabíjení (více článků potřeba balancovat),
- opotřebení vlivem skladování v nabitém stavu.



Obrázek č. 6 - Li-Pol akumulátor 5000 mAh pro RC modely [11]

1.6 Zacházení s bateriemi technologie Li-Pol

Li-Pol akumulátory jsou velmi náročnými zařízeními na údržbu. Při dodržení základních pravidel nabíjení, vybíjení a skladování bývá zajištěno dlouhé životnosti a omezení rizik (vzplanutí, zničení baterie). Vzhledem ke spojování více článků pro zvýšení celkového napětí se zvyšuje i náročnost zacházení s nimi.

Nejdůležitějším parametrem Li-Pol baterie je její **kapacita udávaná** nejčastěji v **mAh**, popřípadě základních jednotkách (Ah). Kapacity se na dnešním trhu pohybují od stovek mAh až po desetitisíce mAh pro RC účely. Od kapacity se odvíjí veškeré další parametry.

Nedílnou součástí kapacity baterie je i její maximální **vybíjecí proud, trvalý vybíjecí proud a nabíjecí proud**. Tyto parametry jsou udávány v jednotkách až desítkách této kapacity (C) jak ukazuje následující vztah

$$I = x * C_{bat} \quad [A], \quad (1.0)$$

kde I je jeden ze tří proudových parametrů v A, x je násobek kapacity baterie udávaný jako xC baterie a C_{bat} je kapacita samotné baterie v Ah.

Dalším důležitým parametrem je **počet nabíjecích cyklů**. U Li-Pol baterií bývá počet nabíjecích cyklů až 2000 v závislosti na výrobci.

Pro práci s Li-Pol bateriemi je důležité dodržovat stanovená napětí stavů, jak ukazuje následující tabulka:

Tabulka č. 1 – hodnoty napětí stavů Li-Pol baterie

stav baterie	napětí článku [V]
nabito	4,2
přebití	>4,2
poškození	<3
zničení	<2,7
skladování	3,8

1.6.1 Nabíjení

Jak již bylo zmíněno, nabíjecí proces Li-Pol baterií je velmi složitý proces u více článkových baterií. Pro Li-Pol baterie jsou na trhu dostupné speciální nabíječky, které v sobě integrují důležitou součást nabíjecího procesu – balancer. Více návrh viz. příloha 7.

Balancer (česky vyrovnávač) zajišťuje průběžné vyrovnávání potenciálů paralelně připojených článků baterie. Každá více článková baterie má zabudovaný konektor pro připojení balanceru. Je žádoucí, aby rozdílně vyrobené články dosahovali v průběhu nabíjení shodných hodnot napětí. Pokud by toto nebylo dodrženo, vzniká mezi nimi zkratový proud, který články navzájem ničí. Nabíječka proto musí v průběhu nabíjení každý článek hlídat zvlášť a do více nabitých článků omezovat nabíjecí proud.

Výrobce baterií udává maximální a doporučený nabíjecí proud. Doporučený proud bývá řádově menší než proud maximální. Je to optimální nabíjecí proud, při kterém nedochází ke zvýšenému opotřebování baterií. Maximální proud je udáván, pokud uživatel potřebuje narychlo dobít baterii. Tento postup se však nedoporučuje. Nabíjecí proudy je možné vypočítat podle vztahu 1.0.

Pro nabíjecí časy jsou využívány vzorce výrobců jednotlivých nabíječek. Zde závisí na konstrukci dané nabíječky (velký vliv má účinnost baterie).

Při vybíjení je doporučováno vybíjet baterii pouze doporučeným vybíjecím proudem. Krátkodobě však může být vybíjena i proudy vyššími. Vyšší proudy se však nedoporučují. Pro výpočet času výdrže baterie je využíván tento vztah

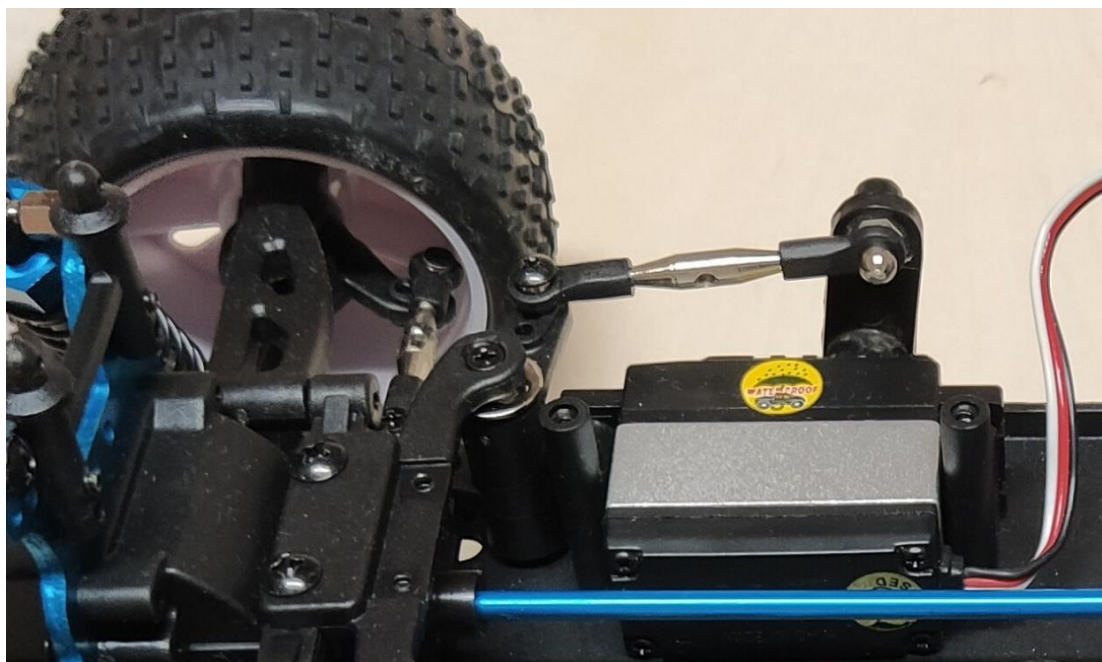
$$t_{vyb} = \frac{C}{I_{vyb}} * 60 \text{ [min]}, \quad (1.1)$$

kde t_{vyb} je čas vybíjení baterie v minutách, C je kapacita baterie v Ah a I_{vyb} je proud do zátěže baterie v A.

Li-Pol baterie nelze skladovat v nabitém stavu. V nabitém stavu dochází k mnohem většímu úbytku kapacity než za stanovených podmínek výrobcem. Vlivem svých vlastností však také dochází při nepoužívání ke ztrátě kapacity. Pro dlouhodobé skladování bývá doporučováno skladovat baterie v polo nabitém stavu. Při tomto stavu by měl mít jeden článek napětí okolo 3,8 V. Tím je zajištěna podstatně menší ztráta kapacity.

1.7 Servomotor zatačení

Nejpoužívanějším typem zatačení je pomocí servomotoru. Servomotory se dnes vyrábějí v nejrůznějších typech provedení. Modelářské servomotory bývají často standardizovány pro účely RC modelů.



Obrázek č. 7 – umístění pákového mechanismu v RC vozidlech

Servomotory bývají umístěny uprostřed hnací nápravy kol, kde pohybují pomocnými konstrukčními prvky a tím zatačejí. V dnešní době se pro úsporu místa na RC vozidle využívá umístění servomotorů na okrajích podvozku. Náprava je potom spojena pákovým mechanismem, který provádí zatačení (viz. Obrázek 7).

Servomotory je možné ovládat stejně jako regulátory – pomocí PWM signálu se změnou střidy. Frekvence PWM signálu bývá nastavena stejně jako u regulátorů, a to v rozmezí 500 Hz – 1 kHz. Otočení servomotoru je potom prováděno v rozmezí stupňů udaných výrobcem. Existují i více otáčkové servomotory, ty jsou však nevhodné pro zatačení RC vozidel.

Nejdůležitějším parametrem servomotorů je jejich úhel natočení. Ten je udáván ve stupních, pokud servomotor zvládne více jak 360°, jedná se o více otáčkové servomotor. Typicky však tato hodnota u modelářských servomotorů bývá 180°. Dalším neméně důležitým parametrem je zatížitelnost servomotoru. Je udáváno v Kg a definuje, kolik servomotor dokáže uzvednout váhy v protisměru přitažlivé gravitační síly na přiloženém ramínku.

Jako servomotor zatačení bylo zvolen servomotor od firmy Konect o síle 6 Kg. Tato hodnota byla převzata z původního servomotoru, obsaženého v zakoupeném podvozku HIMOTO.

1.8 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka je srdcem celého RC vozidla. Musí zajišťovat plynulý pohyb, komunikaci s ovladačem a ošetřit případné hazardní stavy. V komerčně produkováných RC modelech toto všechno zajišťuje přijímač RC vozidla, který posílá veškeré instrukce. V dnešní době je však možné použít jakýkoliv mikrořadič s potřebnými periferiemi.

Ideálním řešením řídicí jednotky jsou 8bitové mikrořadiče rodiny AVR od společnosti Atmel (dnes vlastněná společností Microchip). Některé AVR mikrořadiče jsou vyráběny s 32bitovou architekturou, která ovšem není příliš populární. Pro aplikaci v RC modelech nepřipadají příliš vhod.

Mikrořadiče AVR používají Harvardskou architekturu, která odděluje paměť programu a paměť dat. Díky tomu je možné data ukládat mimo program a tím zamezit narušení běhu programu. Dále pak využívají redukovanou instrukční sadu (RISC), která snižuje náročnost programování. V současné době je možné tyto mikrořadiče výhodně programovat v jazyce symbolických adres (assembly language) anebo v jazyce C/C++, kde lze zadávat jazyk symbolických adres přímo do kódu. Mikrořadiče rodiny AVR se dělí na několik řad.

Řada ATTINY je řada mikrořadičů, zaměřujících se na velmi nízkou spotřebu. Nevýhodou je nízký počet periferií. Tyto mikrořadiče obsahují jen některé periferie a je potřeba zvažovat jejich použití, a to i vzhledem k počtu vývodů.

Oproti řadě ATTINY je řada ATMEGA nejvýkonnější řada 8bitových AVR mikrořadičů. Hlavní vlastností této řady je vysoký výpočetní výkon a velký počet periferií. Značnou výhodou je také velké množství vývodů. Tyto mikrořadiče obsahují většinou veškeré dostupné periferie AVR v různých množstvích a liší se pouze ve velikostech pamětí.



Obrázek č. 8 - Velmi populární mikrořadič ATMEGA 16 v THT pouzdře [12]

1.8.1 Mikrořadič ATMEGA 328P

Jeden z nejpopulárnějších mikrořadičů je mikrořadič ATMEGA 328P. Za svou popularitu vděčí platformě Arduino Uno, ve které tvoří hlavní výpočetní čip. Arduino má velice snadné programování, nicméně nedosahuje takových výkonů jako samotný čip ATMEGA 328P. To je dáno vysokou mírou abstrakce programovacího jazyka. Tento mikrořadič má totožné uspořádání jako ATMEGA 8 se stejným počtem periferií. Jeho výhodou je, že obsahuje mnohem větší paměť programu za téměř stejnou cenu.

Tabulka č. 2 – Vybrané parametry ATMEGA 328P [13]

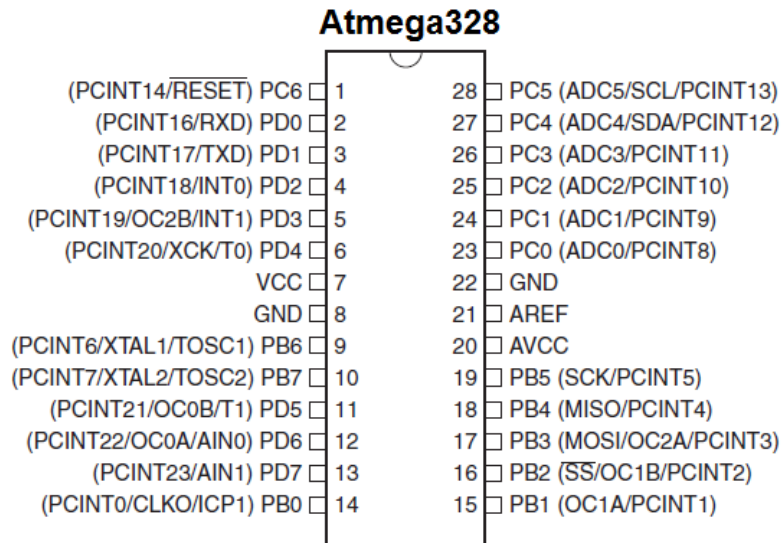
parametr	min	max	jednotka
rozsah teplot	-55	+125	°C
napájení Vcc	2,7	5,5	V
log. 1	2,7	5,5	V
log. 0	-0,5	2,7	V
max. I / port	-	30	mA

Vlastnosti typické pro ATMEGA 328P jsou

- 131 instrukcí,
- 32 8bitových pracovních registrů,
- kmitočet 8 MHz (lze rozšířit až na 20 MHz pomocí externího krystalu),
- 32 kB paměť programu, 1 kB paměť dat,
- dva 8bitový a jeden 16bitový čítač-časovač s oddělenými kmitočtovými děličkami,
- sériová linka USART,
- 6 PWM výstupů,
- 8 kanálový 10bitový převodník AD,
- externí a interní přerušení.

Mikrořadič obsahuje periférií více, toto jsou pouze důležité pro RC čtyřkolku. Pro aplikaci v RC čtyřkolce je nutné použít sériovou komunikaci pro odesílání dat přes bezdrátovou technologii, PWM výstupy s čítači / časovači pro ovládání serva zatáčení a samotného regulátoru BLDC motoru.

Nedílnou součástí každého mikrořadiče je potom programátor a vývojové prostředí pro vytvoření kódu programu a jeho následnou kompilaci do strojového kódu. V tomto případě je použit programátor AVR ASP, který je na trhu s programátory velmi rozšířený. Program je psán ve vývojovém prostředí Atmel Studio 7, které je přímo vyvíjeno společností Microchip a je určeno pro mikrořadiče rodiny AVR.



Obrázek č. 9 - Vývody mikrořadiče ATmega328p [14]

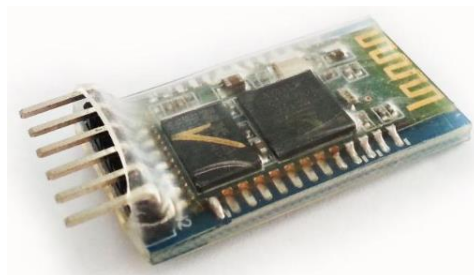
Označení VCC, AVCC + GND je napájení čipu. Označení VCC je digitální napětí 5 V a AVCC analogové napětí 5V. Vývody MISO, MOSI, SCK společně ještě s RESET jsou vývody pro programátor AVR ASP. Pxx určuje pořadí vývodu daného portu. OCxx označují vývody čítače / časovače, který zároveň dokáže generovat PWM signál. Označení INTx jsou vnější přerušení na základě logických úrovní a jejich hran (náběžných a sestupných), ADCx potom označuje vstupy AD převodníků. Všechna x znamenají pořadová čísla a písmena daných periférií.

1.9 Komunikace Bluetooth

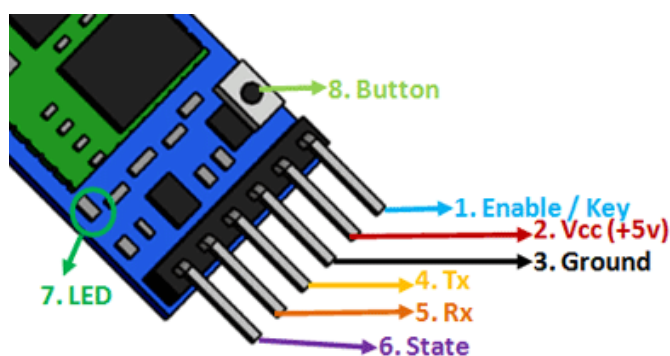
Bluetooth je v informatice otevřený standard pro bezdrátovou komunikaci propojující dvě a více elektronických zařízení^[15] Pro komunikaci Bluetooth je typické, že se dvě konkrétní zařízení musí spárovat. Bluetooth realizuje důvěrnou autentizaci a odvození klíče s vlastním algoritmem, který je založen na šifrovacím algoritmu SAFER + blokové šifry. Generování klíčů je obecně založeno na PIN kódu, který musí být zapsán v obou zařízeních. Ke spárování využívá několika protokolů. V této komunikaci lze uplatňovat nastavení vysílače a přijímače. V dnešní době již komunikace Bluetooth dosahuje velmi vysokých rychlostí (až 2,1 Mb / s). Existuje několik verzí, kdy každá novější verze je kompatibilní s tou předchozí (dnes je poslední verze Bluetooth v 5.0). Standardní dosah Bluetooth (class 2) je 10 m na otevřeném prostranství. To je dostačující pro interaktivní hernu VUT FEKT.

1.9.1 Bluetooth modul HC-05

Na trhu dnes existují samotné mikrořadiče s integrovaným Bluetooth modulem. Samostatné moduly jsou však výhodné vzhledem k vysílacímu výkonu a snadné údržby výsledného zařízení. Jeden z nejpoužívanějších modulů pro Bluetooth komunikaci mikrořadičů s ostatními zařízeními je modul HC-05. Standardně je tento Bluetooth modul určen k platformě Arduino. Výhodou tohoto modulu je nízká cena a snadné programování.



Obrázek č. 10 - Bluetooth modul HC-05 [16]



Obrázek č. 11 - Ovládací piny modulu HC-05 (upraveno) [16]

Modul obsahuje indikační LED pro signalizování stavu připojeno / odpojeno. Dále obsahuje resetovací tlačítko pro případný reset zařízení. Pokud není vývod Enable / Key připojen nikam nebo je připojen na log. 0, zařízení je v komunikačním módu. Pokud je však připojen na log. 1, zařízení se dostává do nastavovacího módu, kde lze nastavit např. rychlost komunikace (v baudech), jméno nebo heslo zařízení a parametry přenosu. Standardně je rychlost komunikace nastavena na 9600 baudů. Vývod Vcc a GND jsou napájecí piny. Modul HC-05 je běžně vyráběn pro 3,3 - 5 V hodnoty napájecího napětí. Vývody Rx a Tx jsou potom sériové komunikační vodiče pro UART / USART, kde Rx je přijímač a Tx vysílač. Na vývod STATE je vyvedena indikační LED pro signalizaci přenosu dat (vhodné pro Arduino). Mechanická část vozidla je neméně důležitá část RC vozítka. Vzhledem k zadání tématu je požadováno, aby byla čtyřkolka odolná a měla schopnost překonávat větší terénní překážky (vzhledem k velikosti).

1.10 Podvozek

Podvozek musí zprostředkovávat dostatečné místo pro všechny komponenty auta, musí být dostatečně odolný, správně zatáčet a mít adekvátní systém odpružení pro překonávání překážek.

Podvozek je dnes možné sehnat jako RC stavebnici, určenou pro následnou modifikaci. Nevýhodou těchto stavebnic je bezesporu cena a omezená variabilita. Dnešní objednatelné podvozky bývají ze všech různých použitelných materiálů (plasty, hliník). Hliník bývá často používán z důvodu dobré odolnosti (dural) a nízké hmotnosti.

Další možností je demontáž již zkonstruovaného RC vozidla a využití jeho podvozku. Cena bývá často nízká díky nefunkčnosti elektroniky. U tohoto konceptu je však nízká variabilita z důvodu určení pro původní vozidlo.

Dnešní doba přináší další možnost a tou je vlastní koncept podvozku pomocí 3D tisku filamentu na bázi plastických hmot. Výhodou je téměř neomezené pole nápadů realizace podvozku a relativně nízká cena materiálu. Nevýhodou je pevnost materiálu, kterou však lze ovlivnit návrhem a konstrukcí.

Vzhledem k terénnímu zaměření RC vozítka je nutné hledět na celkový koncept. Ten je z velké části ovlivněn druhem pohonu.

Možnost realizace jako klasické auto s jedním motorem s náhonem na zadní kola a zatáčením přední nápravy pomocí serva je jedna z možností. Nevýhodou tohoto konceptu je absence pohonu 4x4 a špatná manévrovatelnost.

Dalším konceptem je pro každé kolo samostatný motor. Zatáčení je potom prováděno opačnými chody motorů na stranách. Celkový výkon je rozdělen mezi motory a není zatěžován pouze jeden. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena pohonů a jejich řídicích jednotek (driverů).

1.11 Kola

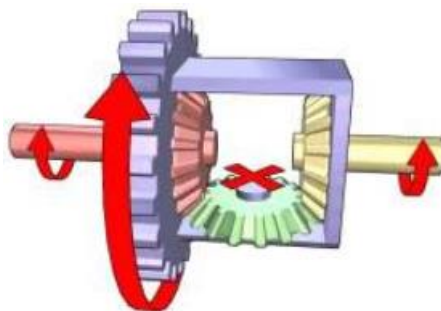
Čím větší kola jsou, tím více překážek překonají. Ideální kola jsou s dobrou přilnavostí a optimálním vzorkem pro dobrý záběr vozidla. Kola mohou být velká a umístěna na okrajích podvozku. Tím přesahují délku a výšku podvozku pro „nepřevratitelné“ vozidlo. Nepřiměřeně velká kola naopak vedou k přetížení motoru při rozjezdu. Je třeba najít kompromis mezi velikostí kol a výkonem motoru. V modelářské praxi se motory uvádějí pro měřítko velikostí RC vozidel (např. 1:10, 1:16, ...)

1.12 Převodové ústrojí

Pro využitelný přenos točivého momentu na nápravu kol je potřeba správného převodového ústrojí. Převodové ústrojí zajišťuje přenos točivého momentu na nápravy RC vozidla. Z hlediska rozložení existují s náhonem na zadní kola a s náhonem na všechny kola. Přední kola bývají z pravidla pro zatáčení, a proto se na ně samostatně náhon neumisťuje. Dnešní RC vozidla mívají integrovaný diferenciál, který zajišťuje správné rozložení hnací síly na všechna potřebná kola. Pro regulaci otáček bývá v RC vozidlech převodové ústrojí měnící otáčky hnací nápravy.

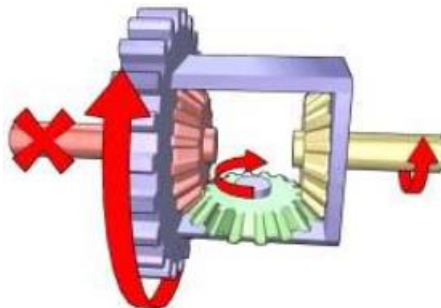
Diferenciál je mechanický prvek umožňující rozdělení pohonu na dva výstupní hřídele.^[20] V praxi diferenciál velmi zefektivňuje záběr kol tím, že přidává točivý moment na kolo, které v daném momentu více potřebuje. Pokud je kolo nápravy vyzdvihnuto a povrch mu klade menší (ne-li žádný) odpor, výkon je přeorientován na druhé kolo.

S postupem času a vývojem technologie byl tento konstrukční prvek zaváděn i do RC modelů aut pro věrné napodobení jízdních vlastností a zvýšení celkové efektivity. RC vozidla osazená diferenciálem podávají mnohem lepší výsledky v terénu díky přenášení výkonu z jednoho kola na druhé.



Obrázek č. 12 – Diferenciál při shodně otáčejících se nápravách [20]

Z obrázku 12 je patrné, že pokud se obě hřídele otáčejí stejnou rychlostí (na kola působí shodný odpor), pak se diferenciál otáčí stejně jako zmíněné hřídele. Zelené středové kolo je vyřazeno z provozu. Za této situace dochází rovnoměrnému rozložení momentu 1:1.



Obrázek č. 13 – Diferenciál při jedné zastavené nápravě [20]

Obrázek 13 demonstruje situaci při zpomalení či úplném zastavení jedné z náprav (snížen nebo vynulován odpor povrchu). V tomto případě zastavenou nápravu nahrazuje zelené středové kolečko, které se roztáčí a přenáší veškerý výkon na nápravu s větším odporem povrchu. Tímto je zajištěn plynulý průjezd terénem se záběrem na v daném momentu potřebné kolo.

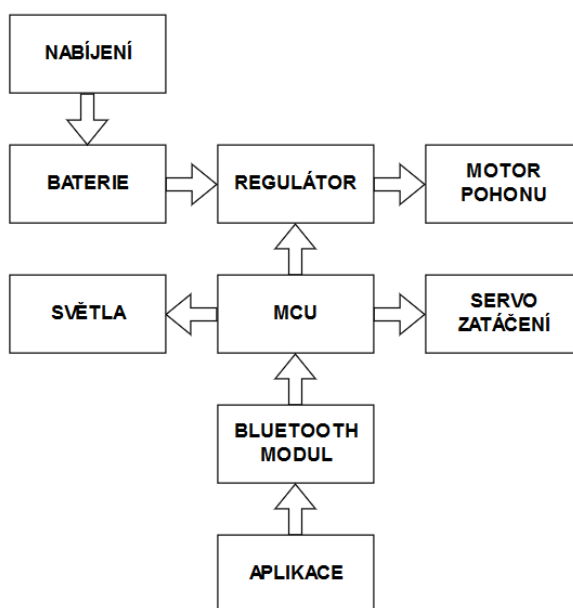
Pokud má vozidlo pohon 4x4 (na všechny kola), pak bývají diferenciálem osazeny obě nápravy, jak přední, tak zadní.

2 KONSTRUKCE ELEKTRICKÉ ČÁSTI

Tato část bakalářské práce se zaměřuje na konstrukční návrh elektrické části RC vozítka. Je zde popisováno elektrické zapojení schématu s již vybranými komponenty a v neposlední řadě programová část s popisem jednotlivých programů.

2.1 Funkční blokové schéma

Elektrická část RC modelu tvoří důležitou součást celkového vozítka. Pro základní úvahu bylo vytvořeno funkční blokové schéma zapojení.



Obrázek č. 14 - Funkční blokové schéma RC vozidla

Srdcem celého vozítka je mikrořadič společně s regulátorem. Mikrořadič plní funkci přijímače instrukčních dat z Bluetooth komunikace, které zpracovává a ošetřuje případné odpojení chytrého zařízení od vozítka. Dále pak na základě příkazů z Bluetooth komunikace posílá příkazy pro ovládání regulátoru samotného pohonu, zatačení servomotoru a v neposlední řadě i pro světla. Uživatel potom skrze aplikaci dokáže plynule posílat data ovládání. Regulátor je napájen bateriemi a stará se o regulaci výkonu a směru otáčení pohonné jednotky. Baterie jsou nabíjeny externí nabíječkou po připojení uživatelem.

2.2 Řídicí jednotka

Jako řídicí jednotka byl vybrán 8bitový mikrořadič z rodiny AVR ATMEGA 328P. Původně byl zamýšlen ATMEGA 8, který však disponuje menší pamětí za téměř stejnou cenu. Mikrořadič byl zvolen z důvodu velmi snadného programování s velkou sadou periférií. Periferie vhodné pro tuto aplikaci jsou: 1 čítače / časovače pro generování PWM signálů pro regulátor a servomotor zatačení a USART pro sériovou komunikaci s Bluetooth. Programování je prováděno přes programátor USB ASP, který je přímo určen pro rodinu AVR.

2.3 BLDC motor a regulátor

Na trhu se pohybuje velké množství regulátorů a motorů. Pro tuto aplikaci bylo zvoleno výhodné kombo z RC obchodu bighobby.cz: **BH Power 2430 5800 kv + 25 A**. Vybíráno bylo podle velikosti vozidla, otáček a spotřeby samotného motoru. Vzhledem k řízení mikrořadičem byla zvolena bezsenzorová varianta BLDC motoru, kde možnost defektů ošetřuje právě mikrořadič. Od toho se odvíjí i regulátor, který neobsahuje vývody pro senzory motoru. Vybraný regulátor obsahuje 5 V napájecí výstup pro případnou periférii řízení. Tento výstup bude použit pro napájení řídicí jednotky s Bluetooth modulem a zároveň ošetří vypnutí odběru při vybití baterie (5 V výstup se vypne). Regulátor nabízí možnost jeho vypnutí při snížení úrovně napájení pod nastavenou mez (výhodné pro Li-Pol baterie) anebo pomocí vyvedeného integrovaného mechanického vypínače. Vybraný BLDC motor disponuje těmito vlastnostmi

- počet pólů (cívek) 4,
- otáčky na volt $5800 \text{ min}^{-1} / \text{V}$,
- maximální proud 18 A,
- napětí 7,4 - 8,2 V / 2 články Li-Pol,
- výkon 200 W.



Obrázek č. 15 - BLDC motor BH Power 2430 [2]

Regulátor byl vybrán díky těmto vlastnostem

- Stálý proud 25 A,
- maximální proud 100 A,
- počet článků 2 (pro technologii Li-Pol),
- výstupní napájení; 5 V/2 A,
- bez vývodů pro senzory,
- možnost připojení programovatelné karty ANO,
- automatické odpojení při podvybití ANO.



Obrázek č. 16 - Regulátor k motoru 2430 25 A [2]

2.3.1 Programovatelná karta regulátoru

Programovatelná karta slouží k nastavení regulátoru, tím, že ho přepne do nastavovacího módu pomocí PWM. Mód kartou bude nastaven pouze jednou na začátku před spuštěním RC vozidla. Karta k tomuto regulátoru obsahuje nastavení vypínacího napětí regulátoru při vybití baterie, rychlosti náběhu motoru, brzdící síly, zpětné rychlosti a rozsah neutrálu.

Výrobce regulátoru a karty doporučuje vypnout regulátor, připojit programovací kartu a potom regulátor zapnout. Z motoru by se mělo ozvat dvojité pípnutí, že je regulátor v nastavovacím módu a lze upravovat jeho parametry.

2.4 Baterie

Z teoretického úvodu je zřejmé, že nejlepších parametrů dosahují baterie technologie Li-Pol. Vzhledem k relativně velké spotřebě motoru jsou tyto baterie nutností. E-shop BigHobby.cz nabízí velmi výhodné ceny Li-Pol baterií vzhledem ke kapacitě a vybíjecím proudům. Jako vhodná baterie byl vybrán typ: **NANO Tech 5500 mAh 2 S 25 C**. Počet článků byl vybrán vzhledem k doporučeným parametrům regulátoru. Veškeré Li-Pol baterie poskytují vybíjecí proudy začínající na 100 A. Pro tuto aplikaci byla vybrána baterie s nejnižším možným vybíjecím proudem 25 C (podle vztahu 1.0 **137,5 A**) a kapacitou 5500 mAh. Výrobce udává maximální vybíjecí proud až 50 C. Tento proud je však krátkodobý a pro aplikaci v RC vozidle nepoužitelný. Pro testování prototypu RC vozidla byla vybrána baterie s těmito parametry

- kapacita 5500 mAh,
- stálý vybíjecí proud 25 C (137,5 A, ze vzorce 1.0),
- maximální vybíjecí proud 50 C (275 A, ze vzorce 1.0),
- napětí 7,4V / 2 články,
- nabíjecí proud 1 C / max. 2 C,
- váha 277 g,
- konektor XT90.



Obrázek č. 17 - Baterie Li-Pol společnosti NANO-Tech 5500 mAh [2]

2.5 Nabíjecí stanice pro Li-Pol

Jak již bylo zmíněno, nabíjení Li-Pol baterií je prováděno externí nabíječkou vzhledem k náročnosti nabíjecího procesu. Nabíjecí stanice byla zvolena **Imax B6 80 W**. Tato stanice umožňuje kontrolu nad veškerými parametry nabíjení. Pokud je baterie nabita, nabíječka sama odpojí baterie, aby nedošlo k jejich zničení. Pokud je baterie nějakým způsobem poškozena (úplné vybití, narušení struktury), nabíječka z bezpečnostních důvodů začne hlásit chybu. V tomto případě je nutné baterii vyměnit za jinou.

Nabíjecí stanice obsahuje integrovaný zdroj pro připojení z napájecí sítě 230 V / 50 Hz. Parametry vybrané nabíječky jsou

- | | |
|-----------------------|-------------|
| • nabíjecí výkon | 80 W, |
| • vybíjecí výkon | 10 W, |
| • počet článků Li-Pol | 1-6 článků, |
| • nabíjecí proud | 1-6 A. |



Obrázek č. 18 - Nabíječka Li-Pol baterií Imax B6 80W [2]

Tato nabíjecí stanice je velmi univerzální a dokáže nabíjet velké množství akumulátorů různé technologie a článků.

2.6 Elektrické schéma zapojení

Elektrické schéma (dostupné v příloze 1) je kompletní schéma pro DPS RC vozidla v programu EAGLE od společnosti Autodesk. Mikrořadič ATMEGA 8 zde nahrazuje ATMEGA 328P z důvodu stejné konfigurace vývodů, zmíněné již v teoretickém úvodu. Na PWM výstupy čítače / časovače je připojeno ovládání regulátoru. Na vývody RX a TX jsou připojeny vývody TX a RX Bluetooth modulu. Veškerá TTL logika je napájena z regulátoru pro případné odpojení při vybití baterií. Světla jsou pomocí dvou tranzistorů spínány volnými vývody nepoužitého portu (PORT C). Každý tranzistor spíná jednu dvojici světel (přední a zadní) pro případnou možnost oddělení jednotlivých světelných obvodů a pro větší spolehlivost. V zapojení samozřejmě nesmí chybět port ve formě MLW konektoru pro externí připojení programátoru USP ASP. Programátor je napájen z USB programovacího zařízení (PC) a s regulátorem má spojenou pouze zem. Veškerá silová elektronika (baterie – regulátor – motor – vypínač) je vedena mimo toto schéma z důvodu odvedení velkých proudů mimo desku. Veškeré porty, které lze v budoucnu využít pro rozšíření RC čtyřkolky jsou vyvedeny sběrnice pro připojení dodatečných periférií a pro výsledné ladění zařízení.

2.7 Výběr komponent pro desku plošných spojů

Pro připojení programátoru USB ASP byl použit standardní 10pinový konektor MLW.

Pro osvětlení RC čtyřkolky byly využity dva typy LED. Technologie LED umožňuje dosažení velmi velké svítivosti při minimálním potřebném výkonu. Na rozdíl od klasických vláknových žárovek a zářivek LED nevádí časté vypínání a zapínání.

Přední osvětlení je realizováno 2 LED barvy teplé bílé s klasickým odběrem 20 mA s typickou svítivostí. Pro správné nastavení pracovního bodu bylo ještě nutné zjistit napětí při daném proudu těchto LED, které činí 3,1 V.

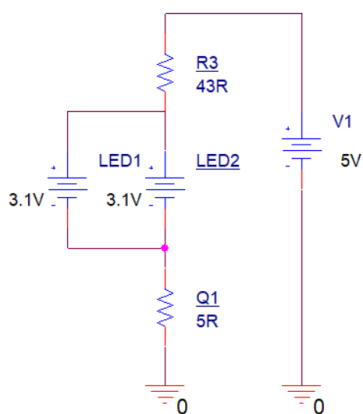
Zadní osvětlení je realizováno 2 LED barvy červené. Jelikož tato světla fungují pouze jako obrysové, byla zvolena jako signalizační LED s proudem 2 mA. Napětí při tomto proudu je 1,8 V.

Vzhledem k funkci tranzistoru jako spínače se jevil jako nejlepší možná varianta tranzistor MOSFET. Pro kladnou logiku byl potom zvolen tranzistor s kanálem vodivosti typu N. Tranzistory FET disponují velmi malým odporem kanálu v sepnutém stavu a jejich spínací napětí U_{TH} bývá nejčastěji okolo 3,6 V.

Pro tento účel byl zvolen tranzistor BS170. S velmi nízkým odporem kanálu 5 Ω a nízkou cenou se stal vhodným kandidátem. Zohledněnými parametry se stalo také maximální napětí U_{GS} a U_{DS} aby bylo zamezeno průrazu tranzistoru v rozepnutém stavu.

2.7.1 Výpočet rezistorů

Vzhledem k navrženému elektro schématu (dostupné v příloze 1) bylo potřeba dopočítat parametry obvodu spínání světél. Pro výpočet rezistorů potřebných pro omezení proudů do svítivých diod bylo odvozeno zjednodušené schéma ze základních součástek.



Obrázek č. 19 – Schéma pro výpočet předních světél

Obrázek 19 reprezentuje odvozené schéma pro přední světla s již vypočítanými hodnotami. Z daného proudu diodami je znám úbytek napětí na tranzistoru Q1 realizovaného odporem kanálu $5\ \Omega$. Poté lze z Ohmova zákona psát

$$U_{Q1} = 2 \cdot I_D \cdot R_{DS} = 2.20 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 0,2\ V, \quad (1.2)$$

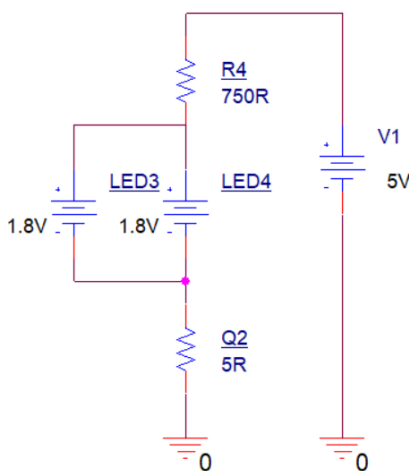
kde U_{Q1} je napětí na tranzistoru Q1, I_D je proud jednou diodou a R_{DS} je odpor kanálu tranzistoru Q1 v sepnutém stavu. Pak již stačí odečíst napětí pro výpočet odporu R_3

$$R_3 = \frac{U_1 - U_D - U_{Q1}}{2 \cdot I_D} = \frac{5 - 3,1 - 0,2}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 42,5\ \Omega, \quad (1.3)$$

kde R_3 je výsledný odpor omezovacího rezistoru, U_1 je napětí zdroje, I_D proud diodou při napětí diody U_D . Aby odpor souhlasil s použitelnou řadou rezistorů, zaokrouhlíme na $43\ \Omega$. Výkon na rezistoru bude dán

$$P = R_3 \cdot I^2 = 43 \cdot (40 \cdot 10^{-3})^2 = 68\ mW, \quad (1.4)$$

rezistor může mít maximální zatížitelnost $150\ mW$. Výsledný rezistor byl vybrán $43R$ se zatížitelností $150\ mW$.



Obrázek č. 20 – Schéma pro výpočet zadních světel

Obrázek 20 naopak reprezentuje odvozené schéma pro zadní světla s již vypočítanými hodnotami. Z daného proudu diodami je znám úbytek napětí na tranzistoru Q1 realizovaného odporem kanálu $5\ \Omega$. Poté lze z Ohmova zákona psát

$$U_{Q2} = 2 \cdot I_D \cdot R_{DS} = 2 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 0,02\ V, \quad (1.5)$$

kde U_{Q2} je napětí na tranzistoru Q2, I_D je proud jednou diodou a R_{DS} je odpor kanálu tranzistoru Q2 v sepnutém stavu. Pak již stačí odečíst napětí pro výpočet odporu R_3

$$R_4 = \frac{U_1 - U_D - U_{Q2}}{2 \cdot I_D} = \frac{5 - 1,8 - 0,02}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 795\ \Omega, \quad (1.6)$$

kde R_3 je výsledný odpor omezovacího rezistoru, U_1 je napětí zdroje, I_D proud diodou při napětí diody U_D . Aby odpor souhlasil s použitelnou řadou rezistorů, zaokrouhlíme na $750\ \Omega$. V tomto případě je ještě hodnota odporu v toleranci s maximální přípustným proudem diodami. Výkon na rezistoru je dán

$$P = R_3 \cdot I^2 = 750 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 = 12\ mW, \quad (1.7)$$

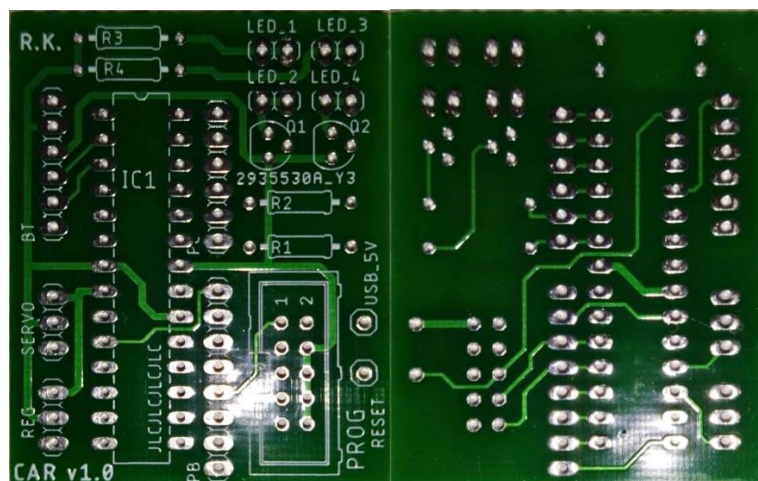
rezistor tedy může mít maximální zatížitelnost $150\ mW$. Výsledný rezistor byl vybrán $750R$ se zatížitelností $150\ mW$.

Rezistory do Gate tranzistorů byly zvoleny $1\ k\Omega$ z důvodu rázů spínání tranzistoru. Přechod G-S je brán jako kapacita a zvolený rezistor vytváří RC článek pro pomalejší nabíjení kapacity C_{GS} .

2.8 Návrh a výroba desky plošných spojů

Pro návrh desky plošných spojů bylo nutné dodržet několik zásad. V první řadě je nutné zvolit adekvátního výrobce, který splní minimální rozlišovací rozměry celé desky (šířka cest, mezery, prokovy). Domácí výroba v tomto případě nepřipadala v úvahu, jelikož byl kladen důraz na minimalizaci desky s plošnými spoji. Výsledný návrh proto kombinuje minimalizaci výsledné desky a dostatečné rozměry vzhledem k protékajícím proudům. Výsledný návrh desky je vyobrazen v příloze 2.

Výroba nakonec probíhala u čínského výrobce JLCPCB. Ten na svých stránkách poskytuje předpřipravený formulář k vyplnění zakázky. I přes minimální odběr $5\ ks$ desek se tento výrobce jevil jako jeden z nejlevnějších. Výrobce navíc poskytuje pokrytí plošek cinem technologií HAL a celkové pokrytí nepájivou maskou v různých barvách. Pro potřeby RC čtyřkolky byla zvolena standartní zelená barva nepájivé masky a DPS. Výsledná deska je vyobrazena na obrázku 21. Výrobní podklady v programu EAGLE pro výrobu řídicí desky jsou dostupné v příloze 2.



Obrázek č. 21 – Vyrobená DPS od výrobce JLCPCB

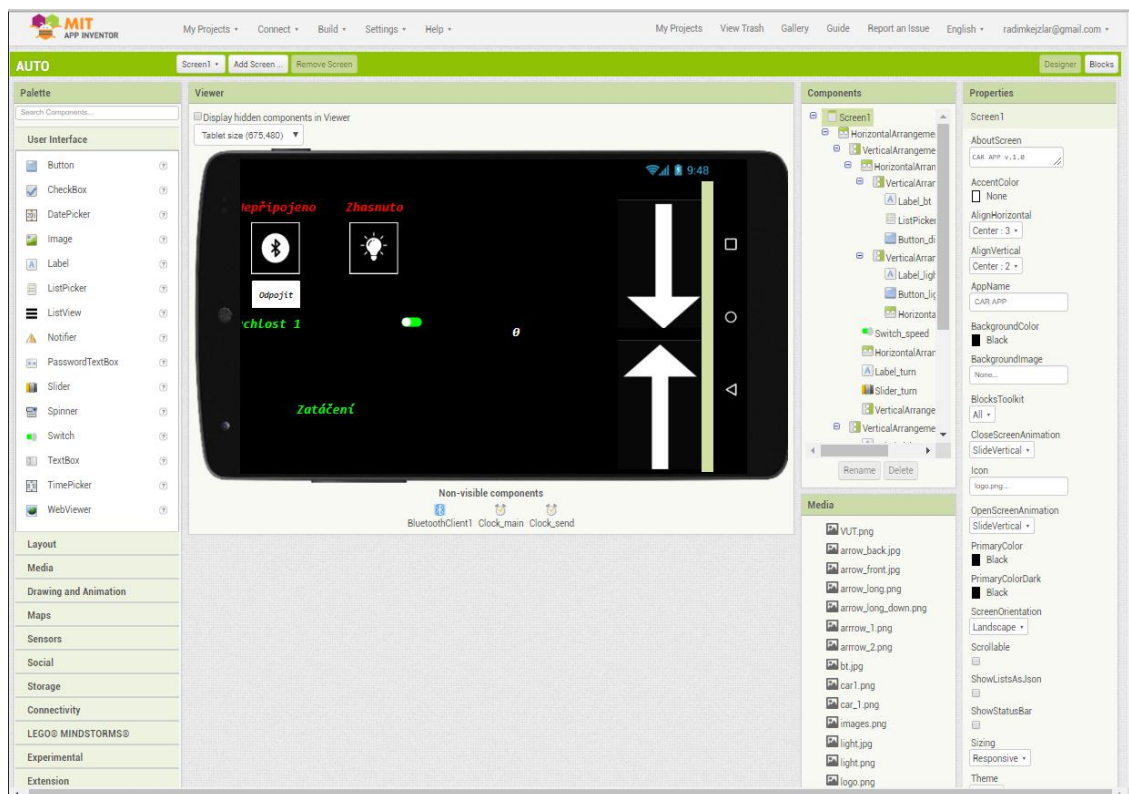
3 PROGRAMOVÁ ČÁST

Jak již bylo zmíněno, srdcem celé RC čtyřkolky je mikrořadič ATMEGA 328P. Ten obstarává veškerou komunikaci mezi Bluetooth a regulátorem motoru a servem. Aplikace obstarává obsluhu uživatele, který má možnost ovládat RC čtyřkolku a zároveň párovat zařízení se systémem Android se čtyřkolkou.

3.1 Mobilní aplikace

Zvoleným operačním systémem byl OS Android. Android je dnes multiplatformní otevřený systém, který se stále vyvíjí. Na rozdíl od iOS používaného na zařízeních od firmy Apple je tento systém mnohem dostupnější pro širší veřejnost a uživateli dává téměř neomezenou možnost, jak se zařízením nakládat. Mobilní aplikace byla vyvíjena v prostředí MIT App Inventor 2.

Vývojové prostředí MIT App Inventor 2 poskytuje nenáročné a účelné vytváření aplikací pro OS Android. Uživatel využívá metod a tříd jazyka JAVA, které skládá jako bloky stavebnice do sebe a tvoří program. Uživatel již nemusí řešit definice jednotlivých periférií díky předpřipraveným komponentům. Pouze mění jejich nastavení a ovládá je.



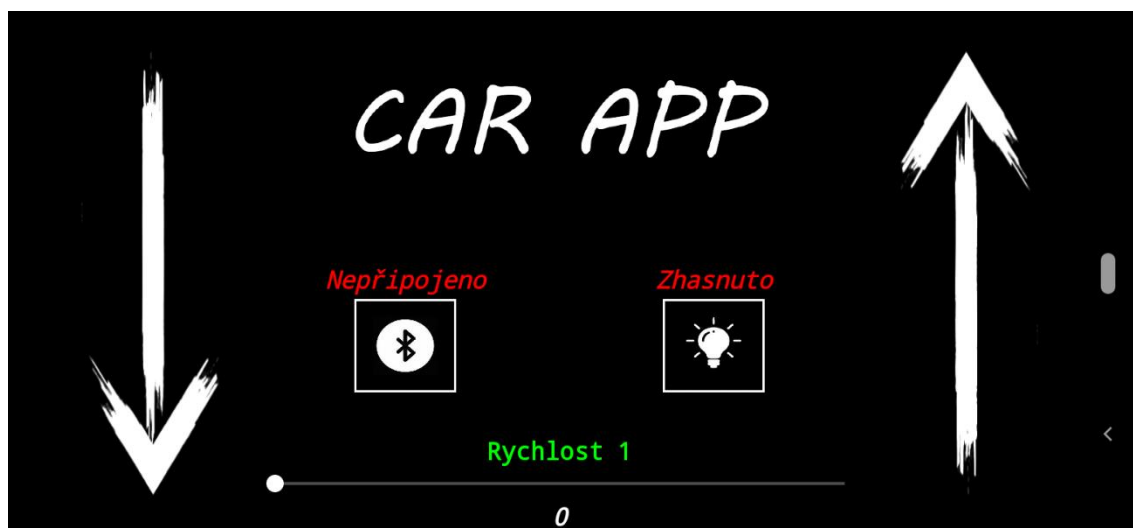
Obrázek č. 22 – Uživatelské rozhraní MIT App inventor 2

V první části (obrázek 22) uživatel vytváří grafické prostředí pomocí funkce uchop a táhni. Uživatel takto graficky zpracuje svoji aplikaci s možností změny rozměrů jednotlivých grafických prvků. Ty rozměry mohou být nastaveny fixně či proporcionálně z důvodu multiplatformního systému Android.

V druhé části pak již skládá bloky logických funkcí a metod volajících jednotlivé komponenty vytvořené v předchozím grafickém rozhraní.

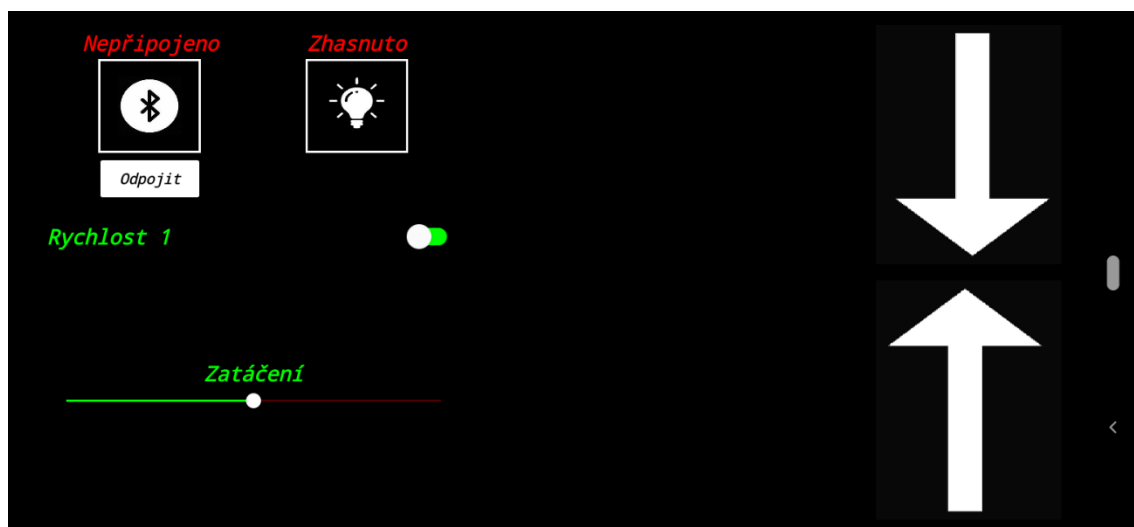
Výslednou aplikaci je poté možné ihned po kompilaci stáhnout v instalačním souboru .apk a nainstalovat na cílové zařízení.

Původní koncept aplikace měl být založen na využívání akcelerometru zařízení pro zatáčení vozidla. Nicméně to se ukázalo jako velmi nepraktické a neintuitivní pro uživatele. Původní aplikace je zobrazena na obrázku 23. Aplikace původně obsahovala tlačítka pro jízdu po stranách zařízení. Tím bylo docíleno využití obou rukou uživatele.



Obrázek č. 23 – Původní aplikace s náklonem

Z obrázku je zřejmé, že aplikace nemá ve svém rozhraní žádné možnosti pro zatáčení z důvodu využívání náklonu.



Obrázek č. 24 – Finální verze aplikace bez náklonu

Finální verze aplikace (obrázek 24) proto obsahuje posuvník značící zatáčení předních kol RC čtyřkolky. V levé části aplikace se nachází uživatelské rozhraní pro připojení a odpojení čtyřkolky. Mimo to se zde nachází také tlačítko pro zapínání / vypínání světel. Pod tímto rozhraním je umístěna možnost změnit rychlost čtyřkolky (rychlost 1 a 2). V levém dolním rohu je potom umístěno zatáčení realizované posuvníkem. Uživatel k němu má přístup levou rukou. Pravou rukou potom ovládá jízdu v před a jízdu v zad, realizovanou dvojicí šipek v pravé části aplikace.

3.1.1 Program aplikace

Program aplikace byl poskládán z bloků v již zmíněném vývojovém prostředí Mit App inventor 2 (dostupné v příloze 4 a 5). Pro vytvoření bylo zapotřebí vytvořit potřebné komponenty. Komponenty vytvořené pro danou aplikaci jsou:

- popisky (Labels),
- seznam (ListPicker),
- tlačítka (Buttons),
- přepínač (Switch),
- Bluetooth klient (BluetoothClient),
- posuvník (Thumb),
- časovače (Timers).

Nejdůležitějšími komponenty jsou BluetoothClient, ListPicker a Timers.

Při spuštění aplikace se uživatel musí spárovat. K tomu slouží ListPicker ve formě ikony Bluetooth připojení. Po ťuknutí na tuto ikonu dojde k otevření seznamu spárovaných zařízení a uživatel jednoduše vybere modul HC-05 a spáruje se. K těmto úkonům slouží procedura `when ListPicker_bt_devices.BeforePicking` a `AfterPicking`. Před výběrem se naplní seznam Bluetooth zařízeními a po výběru se Bluetooth klient připojí k vybranému zařízení. Hlavní časovač poté hlídá, zda je zařízení připojeno a nastavuje podle tohoto stavu popisek připojeno/nepřipojeno. Uživatel má také možnost tlačítkem pod spárováním odpojit spárované zařízení.

V programu se dále nachází čtyři procedury `when buton_x.TouchDown/Up`, které obsluhují tlačítka pro jízdu vpřed a vzad. Tyto procedury pouze nastavují pomocné proměnné podle stisknutého tlačítka. V hlavním časovači je potom celá logika, která nastavuje jednotlivé bity podle požadovaného směru a rychlosti. Je zde i ošetřena možnost stisknutí obou tlačítek ve stejném čase. Rychlost je nastavována detekcí změny přepínače rychlosti procedurou `when Switch_speed.Changed`. Na stejném principu funguje i tlačítko ve formě ikony světla pro zapínání a vypínání světel.

Zatáčení je prováděno hlavním časovačem, který jednou za 150 ms zkontroluje pozici posuvníku pro zatáčení. Tento přístup byl zvolen z důvodu zbytečného zatěžování aplikace při neustálé změně zatočení.

Ve smyčce hlavního časovače je v neposlední řadě i funkce, která odesílá data. Data jsou realizována proměnou `BTdata`.

Pro přehlednější vyjádření funkce aplikace je v příloze 3 vyobrazen vývojový diagram. Veškeré možnosti ovládání (jízda, zatáčení a světla) jsou reprezentovány blokem „Stisknuto tlačítko ovládání?“. Hlavní smyčka je v tomto diagramu vedena svisle dolů, s odbočkami ve formě smyček. Spuštění a vypnutí aplikace je realizováno bloky START a STOP.

Pro odesílání dat byla zvolena 8bitová komunikace o rychlosti 9600 baudů. Tato komunikace byla zvolena z důvodu 8bitové architektury mikrořadiče ATMEGA 328P, který posílá zpracovává informace. Z důvodu rychlejší komunikace proto mezi jednotlivými Bluetooth zařízeními neprobíhá kontrolní součet, ale data jsou přímo odesílána v reálném čase po 150 ms. Přijímaná data v 8bitovém registru vypadají, jak je ukázáno v tabulce 3 (jednotlivé sekce jsou barevně odděleny).

Tabulka č. 3 – 8bitová komunikace aplikace s Bluetooth modulem

Pozice bitu	7	6	5	4	3	2	1	0
Číselná hodnota bitu	128	64	32	16	8	4	2	1
Význam bitu	SVĚTLA ANO/NE	JÍZDA ANO/NE	JÍZDA SMĚR	RYCHLOST	SMĚR ZATOČENÍ	POLOHA ZATOČENÍ		

Pro potřeby plynulé jízdy byly vyhrazeny tři bity, kde dva bity signalizují, zda má auto jet a kam a zbylý jeden jakou rychlostí (dohromady 2 rychlosti). Pro zatáčení bylo vyhrazeno místo o celkové velikosti čtyř bitů. Jeden bit určuje směr zatáčení a zbylé tři určují, jak moc mají být kola natočena. Vzniká tedy 7 hodnot natočení pro každou stranu a nulová hodnota pro kola v rovině. Bit s nejvyšší hodnotou (128) je rezervován pro informaci, zda si uživatel přeje rozsvítit světla.

Problémem jazyka Mit App Inventoru 2 je, že neumí bitové operace s proměnnými. Proto je realizace úpravy odesílaných dat řešena algebraicky. Každá změna v aplikaci je reprezentována prostým přičtením nebo odečtením hodnoty k proměnné BTdata. Pokud je například stisknuto tlačítko jed' v před. Program přičte příslušnou hodnotu do dané proměnné. Pokud již uživatel toto tlačítko nedrží, aplikace následně odečte předchozí přičtenou hodnotu.

3.2 Program řídicí jednotky

Jak již bylo zmíněno, řídicí jednotka ATMEGA 328P musí zpracovávat 8-bitovou informaci v reálném čase. Celý program zpracování je v příloze 6. Program se skládá ze dvou hlavních částí oddělených pomlčkovou čarou ve formě komentářů. První částí je inicializace, kde se nastavují veškeré periferie mikrořadiče pro správný chod. V druhé části programu je potom řešeno zpracování dat poslaných aplikací. Na konci celého programu jsou smyčky jednotlivých přerušení periférií.

Inicializace probíhá vždy pouze jednou po připojení mikrořadiče k napájení regulátoru při zapnutí RC čtyřkolky. V první části inicializace dochází k definici pracovního kmitočtu pro dále používanou knihovnu zpoždění. Dále jsou vloženy všechny potřebné knihovny pro chod programu a inicializovány proměnné. Tuto část programu ještě mikrořadič nevykonává.

Další části již probíhá nastavení směru jednotlivých vývodů mikrořadiče. Zde je dobré si povšimnout, že jeden vývod je nastaven jako vstup. Tento vstup je připojen na Rx Bluetooth modulu HC-05.

Čítač/časovač 0 je inicializován pro funkci neinvertujícího PWM režimu. Ten je definován v registru TCCR0A. Výhodou tohoto časovače je, že má dva oddělené výstupy OCR0A a OCR0B, které lze využívat pro jednotlivé nastavení střidy PWM signálu. Toho je využíváno pro ovládání regulátoru a zatáčení servomotoru (OCR0A pro regulátor a OCR0B pro servomotor). Dělička kmitočtu byla vypočítána podle

$$f_{PWM} = \frac{f_{MCU}}{2 \times N \times (1 + OCR0x)} = \frac{8 \times 10^6}{2 \times 64 \times (1 + 128)} = 484,5 \text{ Hz}, \quad (1.8)$$

kde f_{PWM} je frekvence výsledného PWM, f_{MCU} je pracovní kmitočet mikrořadiče, N je dělicí poměr děličky kmitočtu a $OCR0x$ je hodnota střidy v registru pro změnu střidy (zde využita prostřední hodnota registru). Výsledkem je kmitočet potřebný pro ovládání regulátoru.

Druhý čítač/časovač plní díky svému přerušení funkci kontroly spojení mezi Aplikací a samotnou čtyřkolkou. Čítač/časovač 1 byl zvolen z důvodu, že je 16bitový. To zajišťuje přesnější nastavení časového intervalu pro již zmíněnou kontrolu spojení. Dělička kmitočtu byla v tomto případě odhadnuta na dělicí poměr 256 a výpočet časového zpoždění vyvolání přerušení byl vypočítán vztahem

$$TCNT1 = \frac{t \times f_{MCU}}{2 \times N} = \frac{0,5 \times 8 \times 10^6}{2 \times 256} = 7812,5 [-], \quad (1.9)$$

kde $TCNT1$ je 16bitová hodnota čítacího registru TCNT1, t je požadovaná doba zpoždění vyvolání přerušení, f_{MCU} je pracovní kmitočet mikrořadiče a N je dělicí poměr děličky kmitočtu. Hodnota vyšla 7812,5. Hodnotu s desetinným číslem však nelze do registru zapsat. Proto je třeba toto číslo zaokrouhlit na 7813. Číslo je pak dále rozděleno na dvě 8bitová čísla pro zapsání do TCNT1L a TCNT1H.

Sériové rozhraní USART je inicializováno jako přijímač dat. Dále je nastavena žádná parita a nutné přerušení vyvolané vstupem Rx. Pokud používáme přerušení v mikrořadičích AVR, je nutné povolit přerušení jak lokálně u každé periferie, tak globálně funkci SEI(). Rychlost komunikace v baudech byla vypočítána jako

$$UBRR0 = \frac{f_{MCU}}{16 \times BAUD} - 1 = \frac{8 \times 10^6}{16 \times 9600} = 51,08 [-] \quad (1.10)$$

kde *UBRR0* je hodnota v nastavovacím registru rozhraní *USART*, f_{MCU} je pracovní kmitočet mikrořadiče a *BAUD* je požadovaná hodnota rychlosti v baudech. Výslednou hodnotu je potřeba zaokrouhlit, proto $UBRR0 = 51$. Registr *UBRR0* je taktéž 16bitový a je třeba tuto hodnotu rozdělit do dvou 8bitových registrů *UBRR0L* a *UBRR0H*. Vzhledem k zaokrouhlování dochází v rozhraní *USART* k chybě přenosu dat. Tato chyba je však zanedbatelná vzhledem k velmi malému rozdílu mezi vypočítanou hodnotou a hodnotou po zaokrouhlení a vzhledem k rychlosti přenosu dat (každých 150 ms).

Poslední fáze inicializace je samotná inicializace motoru prováděná cyklem `for`, který po 10 ms nastavuje hodnotu 0–179 v registru změny střidy PWM *OCR0A*. Motor ze začátku nelze spustit pouhým nastavením střidy na hodnotu konkrétní rychlosti.

Hlavní cyklus (v komentáři označený jako *main cycle*) již zpracovává a kontroluje příchod dat. Celý cyklus se neustále opakuje podmínkou `while(1)` a v první fázi je pomocí proměnné `new_data` kontrolováno, zda již data přišly.

Pokud se tak stalo, další fází je informace o příchodu dat pomocí proměnné `error`. Tato proměnná kontroluje, zda stále přichází data od aplikace. Čítač/časovač 1 ve své smyčce přerušení donekonečna nastavuje tuto proměnnou. Pokud při druhém proběhnutí smyčky tohoto přerušení zůstane proměnná `error` nastavena (=hlavní smyčka neproběhla, data nepřišla), smyčka přerušení nastaví veškeré ovládací registry regulátoru, servomotoru a světel do základních hodnot. Základními hodnotami se rozumí nastavení RC čtyřkolky do klidového stavu (vypnutý motor, servomotor v nulové poloze, světla vypnuta). Na konci smyčky je obnovena hodnota čítacího registru *TCNT1*.

V hlavní smyčce dále probíhá pomocí maskování selekce jednotlivých bitů pro jízdu, zatáčení a světla. Pod každou selekci jsou prováděny jednotlivé logické a matematické operace pro správné nastavení motoru pohonu, servomotorů zatáčení a světel. Pro optimalizaci časové náročnosti programu byly optimalizovány některé podmínky, a to tím způsobem, že byly nahrazeny matematickými operacemi. Vzhledem k vestavěné ALU jsou tyto operace mnohonásobně rychlejší než řešení podmínek (mikrořadič obsahuje i vestavěnou hardwarovou násobičku). Na konci hlavní smyčky je potom řádek vynulování proměnné `new_data` a tím signalizováno, že data byla zpracována.

V programu jsou implementovány dvě smyčky přerušení. Jedna, již popsaná výše, je přerušení přetečení čítače/časovače 1 pro ošetření situace bez příchodů dat. Druhá smyčka (v programu první) je smyčka vyvolaná příchodem dat na vývod Rx sériového rozhraní *USART*. Tato smyčka pouze nastaví proměnnou `new_data` a překopíruje obsah registru *UDR0* (příchod dat) do pomocné proměnné `BtData`, která je dále zpracována v hlavní smyčce.

4 KONSTRUKCE MECHANICKÉ ČÁSTI

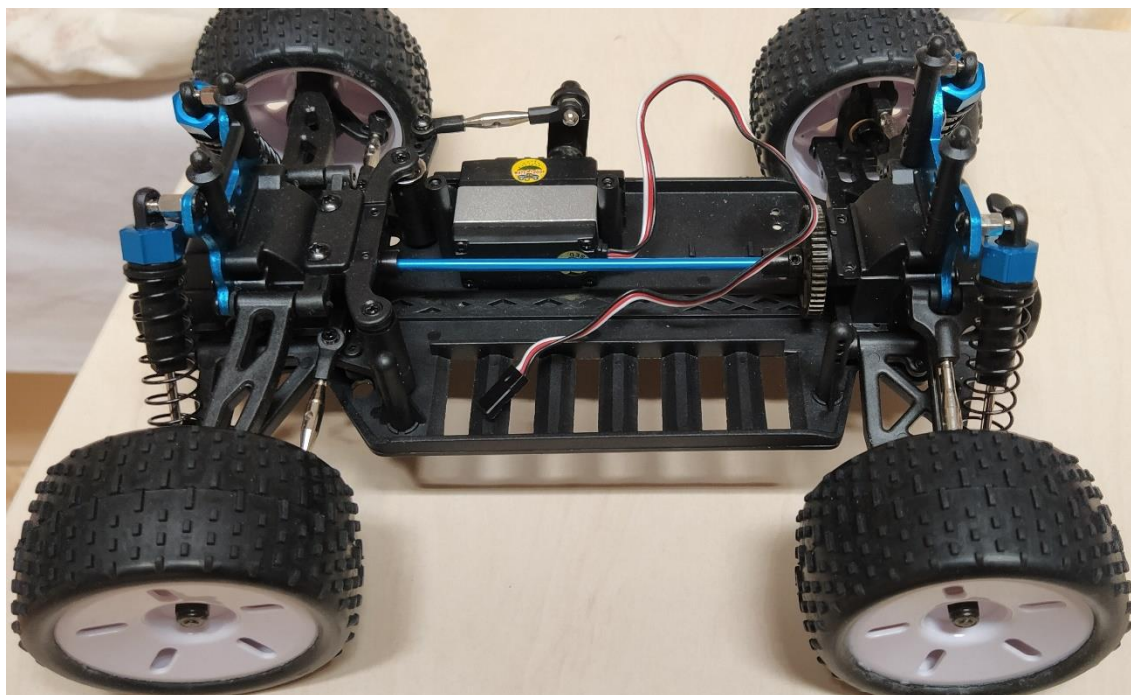
Po dlouhém hloubání bylo upuštěno od kompletní výroby vlastního podvozku. Komerčně dostupné varianty podvozků pro kutily, ať už ve formě stavebnic nebo jako celky, nabízejí sice velmi dobrý základ pro podvozek, nicméně za nesmírně vysokou cenu (5000 Kč a více). Čínské varianty bývají o něco levnější, ale nikdo neví, jaká je jejich kvalita a jestli vůbec dorazí. Proto ani čínské nákupní servery aliexpress.com a banggood.com nepřipadají v úvahu.

Nejvíce vhodnou variantou se proto staly podvozky z již nefunkčních RC vozidel. Tato vozidla ve většině případů trpí na elektroniku, která bývá nefunkční. Lze proto zakoupit kompletní ne plně funkční vozidlo za částku menší než 2000 Kč. Tyto podvozky pochází od původních majitelů, kteří měli vozidlo v záruce a nějakým způsobem se jim porouchalo.

4.1 Podvozek HIMOTO

Rozbité RC vozidlo bylo vybráno od společnosti HIMOTO a to RC Truggy HI4183. Toto vozidlo mělo podle prodejce mojeRC.cz poškozené kontakty a vadný regulátor. Vozidlo je modelářské velikosti 1/16 a rozměry činní 250 x 205 x 88 mm (D x Š x V). Rozměry vozidla byly vybrány z důvodu zakoupeného BLDC motoru, vhodného pro tyto rozměry a z důvodu dostatečného prostoru pro veškerou elektroniku, zvláště pak pro baterie.

Podvozek HIMOTO disponuje náhonem na všechna kola. Z tohoto důvodu obě nápravy obsahují diferenciál, který rozděluje hnací sílu podle situace v terénu. Výhodou tohoto podvozku je, že je od renomované firmy. Díky tomu je možné v případě poruch mechanických částí dokoupit náhradní díly.

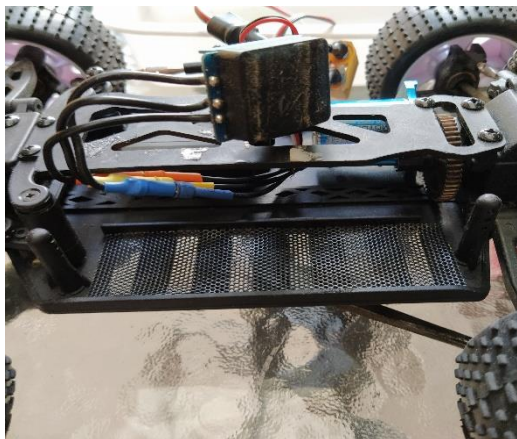


Obrázek č. 25 – Demontovaný podvozek HIMOTO

Veškerá elektronika byla demontována, jak je ukázáno na obrázku 25. Servomotor měl být dle specifikace neporušený, nicméně při testování se ukázalo, že přeskakují převody, a tak bylo nahrazeno stejným ekvivalentem od firmy Konect (viz. Teoretický úvod). Na obrázku je původní servomotor. Celým podvozkem je vedena hřídel, která rozvádí otáčky motoru do obou náprav. V kazetách uprostřed náprav jsou umístěny diferenciály. Vyztužené nápravy zajišťují odpružení vozidla při nerovnostech terénu. Díky relativně

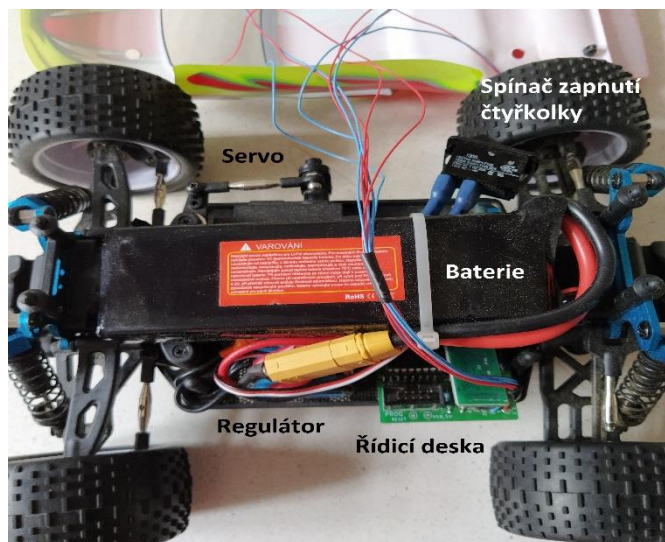
velkým kolům dokáže podvozek překonávat i větší překážky. Kola zároveň slouží jako tlumiče při čelním a zadním nárazu.

Montáž nové elektroniky bylo prováděna s několika zásadami. U RC čtyřkolky musí být prováděna údržba, a to ve formě nabíjení baterie. Proto je nutné dosáhnout dobré přístupnosti baterie a jejího konektoru pro odpojení.



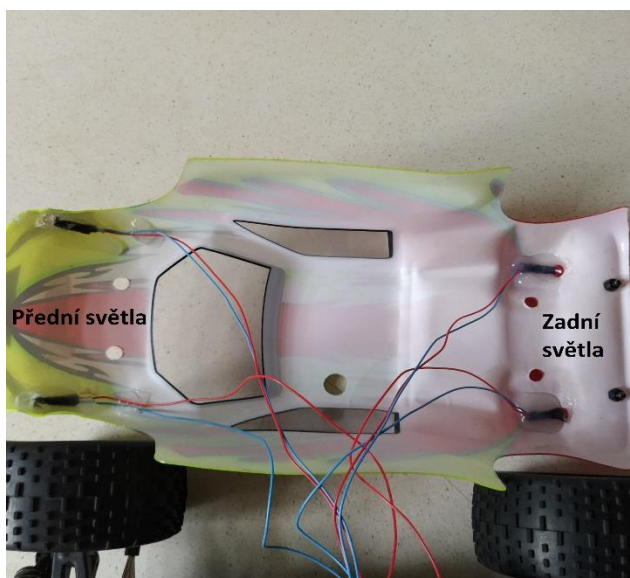
Obrázek č. 26 – upevnění motoru a konstrukčního prvku

Nejprve byl vyměněn původní servomotor HIMOTO za servomotor firmy Konect. Poté byl na podvozek upevněn motor a zapojen regulátor. Na hřídel motoru bylo nasazeno původní převodové kolečko z RC vozidla. Poté byl přidán konstrukční prvek na bok (místo původních baterií) pro usazení regulátoru a řídicí desky ve formě perforovaného plechu (mřížky). Tyto části konstrukce jsou vyobrazeny na obrázku 26.



Obrázek č. 27 – Rozložení elektroniky na podvozku.

Dalším krokem bylo připevnění již zmíněného regulátoru a řídicí desky. Ty jsou umístěny na přidaném perforovaném plechu. Bluetooth modul je osazen jako samostatně odnímatelný modul. Deska je natočena tak, aby mohla být přeprogramována dostupným MLW konektorem. Z řídicí desky vede několik vodičů pro připojení světel v karoserii vozidla. Rozvodná hřídel náhonu je překlenuta již vestavěnou deskou. Na tomto místě se původně nacházela porouchaná řídicí elektronika. Z důvodu snadné demontáže zde byla umístěna baterie. Pod baterií je umístěn spínač baterie, který kompletně odpojuje baterii od veškeré elektroniky. Původní spínač na regulátoru sice vypne regulátor, nicméně ten má stále svoji vnitřní spotřebu. Spínač samotného regulátoru je součástí vozidla. V základním nastavení je neustále v poloze zapnuto. Umístění elektroniky je vyobrazeno na obrázku 27.



Obrázek č. 28 – Karoserie RC čtyřkolky – spodní pohled

Původně zamýšlená karoserie vozidla měla být vytisknuta pomocí 3D tisku (obrázek 28). Z důvodu distanční výuky však tento cíl nebyl splněn a jako alternativa byla využita původní karoserie. Do karoserie bylo vyvrtáno několik děr pro světla. Do karoserie jsou signály rozvedeny pomocí dostatečně dlouhých, barevně odlišených vodičů. Spínač pro vypnutí vozidla nebyl do karoserie integrován z důvodu křehkosti materiálu karoserie. Celá karoserie je upevněna pomocí závlaček pro snadnou demontáž jako v původním vozidle.

5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zkonstruovat dálkově ovládanou terénní čtyřkolku. Práce obsahovala návrh jak části elektrické a mechanické, tak i části programové.

V elektrické části byly vybrány vhodné komponenty s ohledem na zadání. Byl vybrán velmi úsporný BLDC motor s regulátorem. Výsledné vozítko proto vydrží i přes 30 min nepřetržitě jízdy. Regulátor zároveň slouží jako napájení elektroniky a disponuje funkcí automatického odpojení motoru při vybití baterií nebo při vypnutí uživatelem. Při testování této funkce sice regulátor motor odpojí, nicméně stále se u něj projevuje vnitřní spotřeba, což vede k pomalému vybití baterií. Z tohoto důvodu byl mezi baterie a regulátor přidán hlavní spínač, který zajistí úplné odpojení baterií od veškeré elektroniky. Pro větší zážitek z ovládání byla do elektrického schématu přidána možnost ovládání světel motoru. Světla jsou spínána pomocí dvou N-MOS tranzistorů a zapnutí je možné přímo ovládat v aplikaci. Každý tranzistor spíná jednu dvojici světel (přední a zadní). Tím je docíleno možnosti úpravy programu pro rozsvícení jednotlivých dvojic a zároveň je zajištěna i větší spolehlivost.

V programové části byla vyvinuta aplikace pro ovládání RC čtyřkolky s možností párování a odpojení zařízení. Další funkcí aplikace je možnost měnit rychlost (až 2 programové stupně). Při testování na mém mobilním zařízení se systémem Android ONE aplikace občas zamrzávala. U jiných testovaných Androidů se však tento nedostatek neprojevoval (s nastavbou Xiaomi, Honor). To mohlo být způsobeno nedostatečným přidělováním priority ze strany již zmíněného čistého operačního systému Android ONE. Z důvodu absence jakékoli nastavby od různých výrobců může být tento systém nestabilní na různých zařízeních. Vozítko se v takovéto situaci začalo chovat velmi nestandardně z důvodu stále odesílaných zaseklých dat. Problém je tedy s největší pravděpodobností na straně OS a proto nebyl brán v potaz. Program pro řídicí jednotku ATMEGA 328P byl napsán v softwaru Atmel studio 7 v jazyce C. S postupem času se ukázalo, že program musí být velmi optimalizovaný pro rychlé zpracování dat. Několikrát se totiž stalo, že při velmi prudkých změnách zatáčení řídicí jednotka nestíhala zpracovávat data a výsledkem bylo problikávání světel RC čtyřkolky s cukajícím motorem. Tento problém byl minimalizován (nikoli eliminován). To však nijak zvláště neovlivňuje funkčnost celého zařízení.

V konstrukční části byl vybrán vhodný značkový terénní podvozek od společnosti HIMOTO s možností výměny náhradních dílů. Elektronika byla instalována s ohledem na snadnou údržbu baterií pro velmi časté nabíjení. Pro tyto potřeby bylo upevněno několik konstrukčních dílů. Vzhledem k situaci distanční výuky byl dočasně zavržen návrh modelu karoserie pro vhodnější umístění elektroniky. RC čtyřkolka má proto instalovanou původní odnímatelnou karoserii HIMOTO s provizorně zakomponovanou elektronikou.

RC čtyřkolka je připravena k možnému vylepšování součástí. Je možné ji v průběhu používání vždy přeprogramovat pomocí MLW konektoru a programátoru AVR se stejným zapojením (v tomto případě byl použit AVR USB ASP programátor) a zároveň je vybavena snadno odnímatelnou karoserií pro nenáročnou údržbu s baterií umístěnou na vršku podvozku.

LITERATURA

- [1] KREJČÍ, O. Řídicí jednotka pro BLDC motor – diplomová práce [online]. 2014 [cit. 2016-02-08] VUT FEKT. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=83062
- [2] E-shop BigHobby [online]. 2019 [cit. 2019-11-18] Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/>
- [3] Portál How To Mechatronics How Brushless Motor and ESC Work [online]. 2019 [cit. 2019-11-18] Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-brushless-motor-and-esc-work/>
- [4] Portál Arduino-Shop CZ [online]. 2019 [cit. 2019-11-18] Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1653-regulator-otacek-pro-bezkartacove-motory-30a.html>
- [5] Portál Digi-Key Electronics [online]. 2016 [cit. 2019-11-18] Dostupné z: <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2016/dec/how-to-power-and-control-brushless-dc-motors/>
- [6] ŠIMON, J. Portál Odborné časopisy, časopis ELEKTRO 10/2011, BLDC aneb DC motor s nulovými náklady na údržbu [online]. 2011 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/bldc-aneb-dc-motor-s-nulovymi-naklady-na-udrzbu--10016>
- [7] Portál ÚsporyVM, Jaký je rozdíl mezi bateriemi typu NiMH, Li-Ion a Li-Pol do mobilních telefonů a co udává jednotka mAh? [Online]. 2016 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: http://usporvym.web.cz/pomucky/rozdil_mezi_bateriemi_nimh_lion_lipol.htm
- [8] Portál Náradí online, Srovnání aku článků NiCd, NiMH a Li-ION [Online]. 2017 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.naradionline.cz/srovnani-aku-clanku-nicd-nimh-li-ion>
- [9] Portál Smart Mobil, Rozdíly mezi bateriemi typu Li-Ion a Li-Pol [Online]. 2016 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://www.smart-mobil.eu/clanky/44-rozdily-mezi-bateriemi-typu-li-ion-a-li-pol/>
- [10] E-shop RC profi [Online]. 2019 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/xtec-race-pack-stick-2-3a-nimh-micro-7.2v-1600mah>
- [11] E-shop Li-pol Baterie [Online]. 2019 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.lipolbaterie.cz/31-lipol-lipo-baterie-turnigy-2s-5000mah-60c-7-4v.html>
- [12] Portál MICROCHIP, ATMEGA16 [Online]. 2019 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATMEGA16>
- [13] MICROCHIP, Datový list mikrokontroleru ATmega 328p [Online]. 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf

- [14] Portál Learning about Electronics, ATmega328 pinout [Online]. 2018 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Atmega328-pinout.php>
- [15] Bluetooth, Wikipedie, otevřená encyklopedie [Online]. 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [16] Portál gme.cz, HC-05 Bluetooth module User's manual V1.0 [Online]. 2015 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.772-148.1.pdf>
- [17] E-shop gme.cz, LED 5mm, teplá bílá, 8500mcd, 30° 504WC2V-W6-3PD [Online]. 2019 [cit. 2019-26-05]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/led-5mm-warm-white-8500-30>
- [18] E-shop gme.cz, LED 5mm, červená, 6,5mcd, 40°, difúzní BL-B4534-L [Online]. 2019 [cit. 2019-26-05]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/led-5mm-red-6-5-40-bl-b4534-l>
- [19] Portál gme.cz, Unipolární tranzistor BS170 TO92 BULK [Online]. 2019 [cit. 2019-26-05]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/unipolarni-tranzistor-bs170-to92>
- [20] Portál Autorevue, Diferenciál, jak vlastně funguje? [Online]. 2006 [cit. 2019-25-05]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/diferencial-jak-vlastne-funguje_4
- [21] E-shop rcprofi.cz, KONECT 6 kg servo - STANDARD [Online]. 2009 [cit. 2019-27-05]. Dostupné z: https://www.rcprofi.cz/konect-6-kg-servo-standard?gclid=Cj0KCQjwn7j2BRDrARIsAHJkxmyQ6Wnr4qhkH9jtj7TEziaoZD8Bcd_C4rVI7Qgy8ZMA27Rm_f72N4aAlioEALw_wcB

SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN A ZKRATEK

Zkratky:

RC	Radio controlled, rádiem řízený
DC	Direct current, stejnosměrný proud
BLDC	Brushless direct current, bezkartáčový stejnosměrný.
PWM	Pulse-width modulation, pulzně-šířková modulace
THT	Through hole technology, technologie vývodových součástek
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver and Transmitter, Synchronní / asynchronní sériové rozhraní
NiMH	Nickel-metal-hydrid, nikl-metal hydridový
Li-ion	Lithium-Iont, Lithium-iontový
Li-Pol	Lithium-Polymer, Lithium-polymerový
LED	Light-Emitting Diode, Světlo-emitující dioda
MOSFET	Metal oxid semiconductor field effect transistor, tranzistor ovládaný polem
DPS	Deska plošných spojů
HAL	Hot air leveling, Technologie nanášení cínu pomocí horkého vzduchu
SEI	Set global interrupt enable, povolení globálního přerušení
ALU	Aritmetic-logic unit, aritmeticko-logická jednotka
OS	Operační systém
Rx	Reciever, Přijímač
Tx	Transmitter, Vysílač
PORTx	Port mikrořadiče AVR, x je písmeno portu
VCC	Logické napájení
AVCC	Analogové napájení
GND	Logická a analogová zem
G	Gate tranzistoru MOSFET
D	Drain tranzistoru MOSFET
S	Source tranzistoru MOSFET

Symbols:

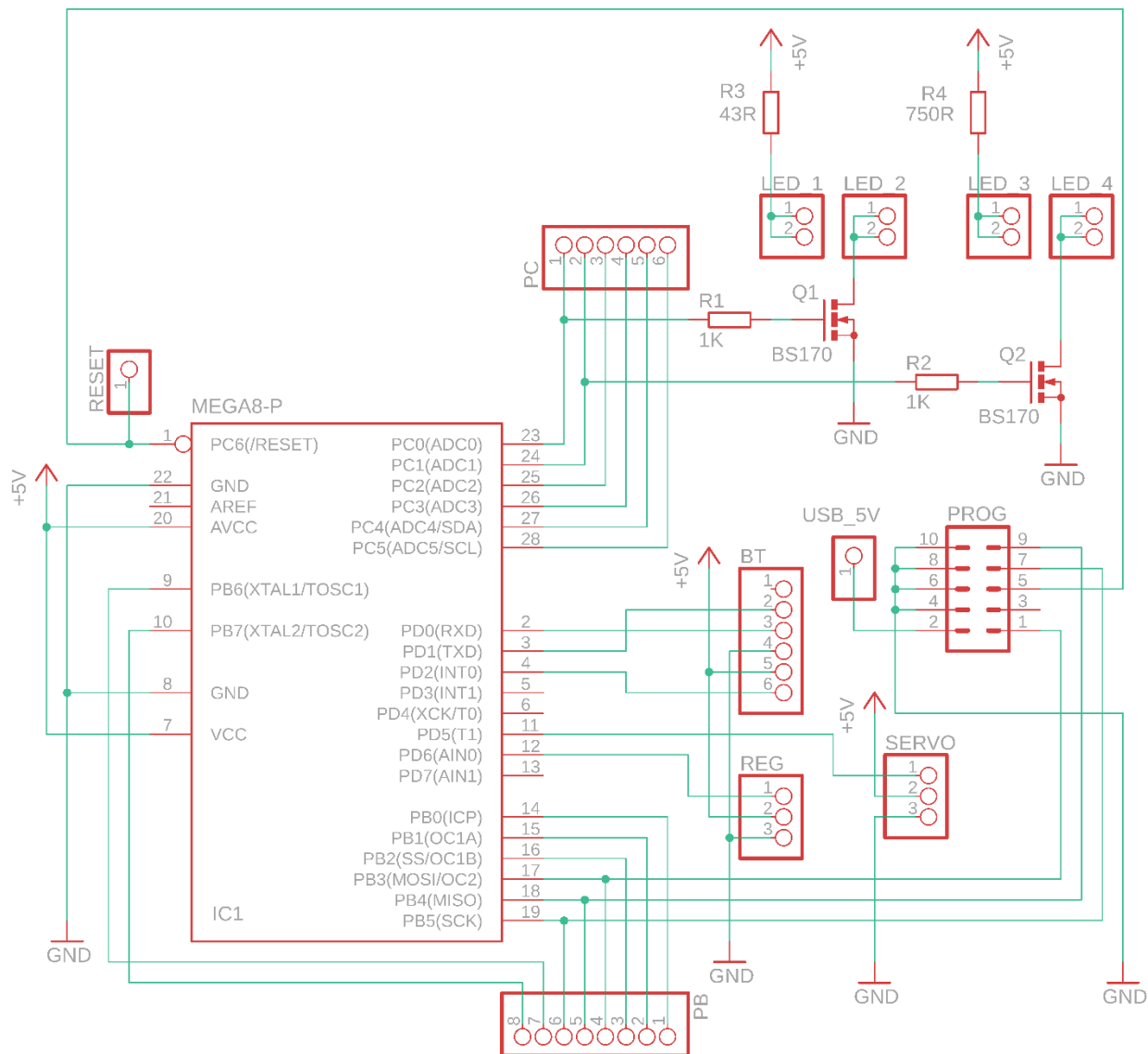
I	elektrický proud	[A]
x	násobek kapacity	[-]
C_{bat}	kapacita baterie	[Ah]
t	čas	[s]
R	Elektrický odpor	[Ω]
U	Elektromotorické napětí	[V]
P	Elektrický výkon	[W]
f_{MCU}	Pracovní frekvence mikrořadiče	[Hz]
N	Hodnota dělicího poměru děličky kmitočtu	[-]
$OCR0A$	Hodnota registru čítače/časovače 0	[-]
$OCR0B$	Hodnota registru čítače/časovače 0	[-]
$UBRR$	Hodnota registru USART	[-]
$TCNT1$	Hodnota registru čítače/časovače 1	[-]
$BAUD$	Hodnota rychlosti komunikace	[baudy]

Seznam příloh

Příloha 1 – Elektrické schéma zapojení	2
Příloha 2 – Návrh desky plošných spojů	3
Příloha 3 – Vývojový diagram aplikace	4
Příloha 4 – Programová část aplikace	5
Příloha 5 – Aplikace pro OS Android	6
Příloha 6 – Program pro mikrořadič ATMEGA 328P	7
Příloha 7 – Návod	10

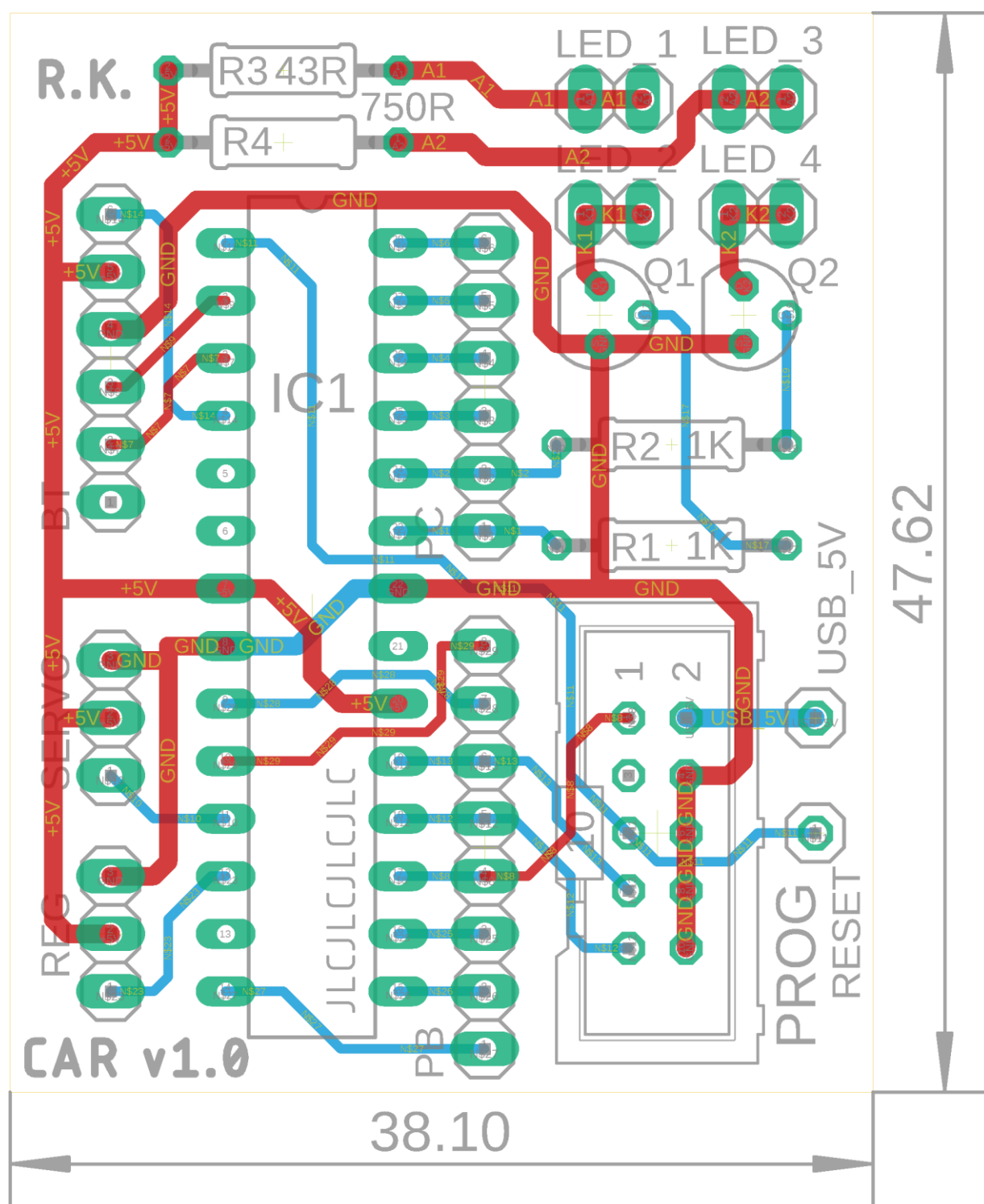
Příloha 1 – Elektrické schéma zapojení

Dostupné jako externí soubor programu EAGLE na portálu www.vutbr.cz.

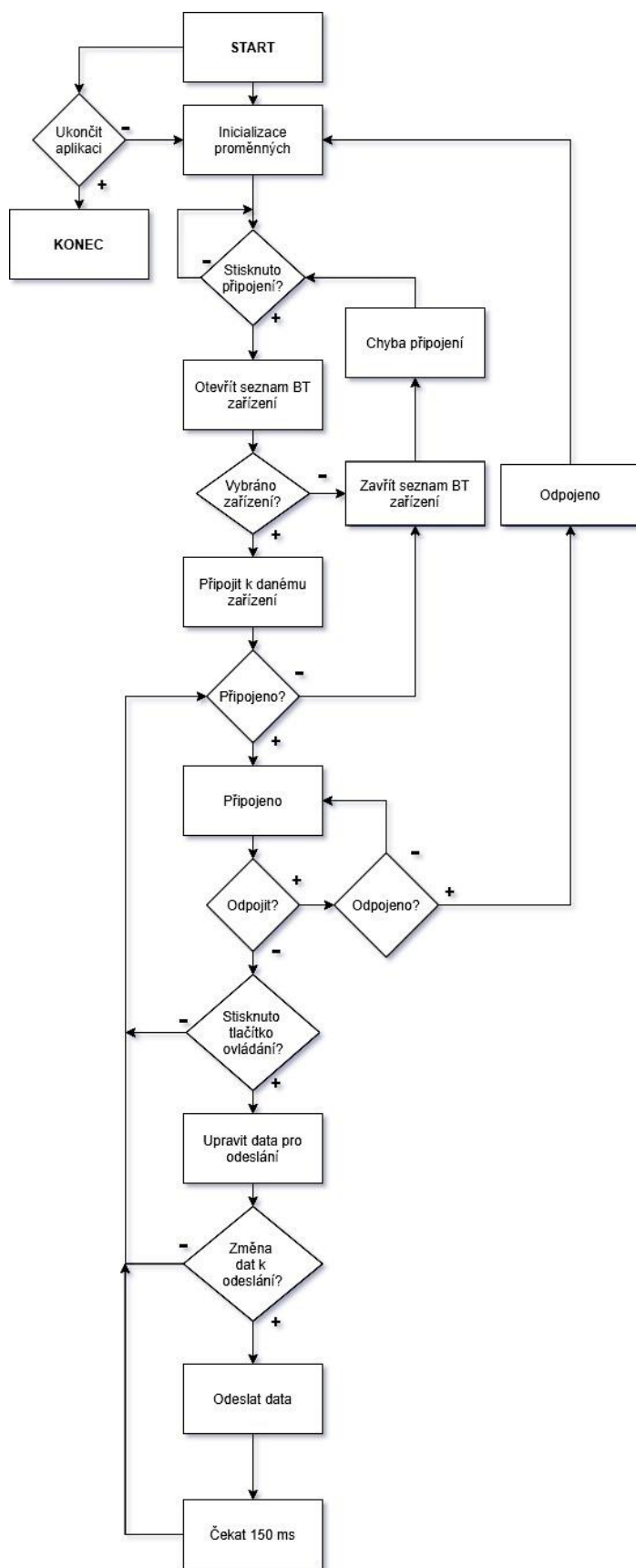


Příloha 2 – Návrh desky plošných spojů

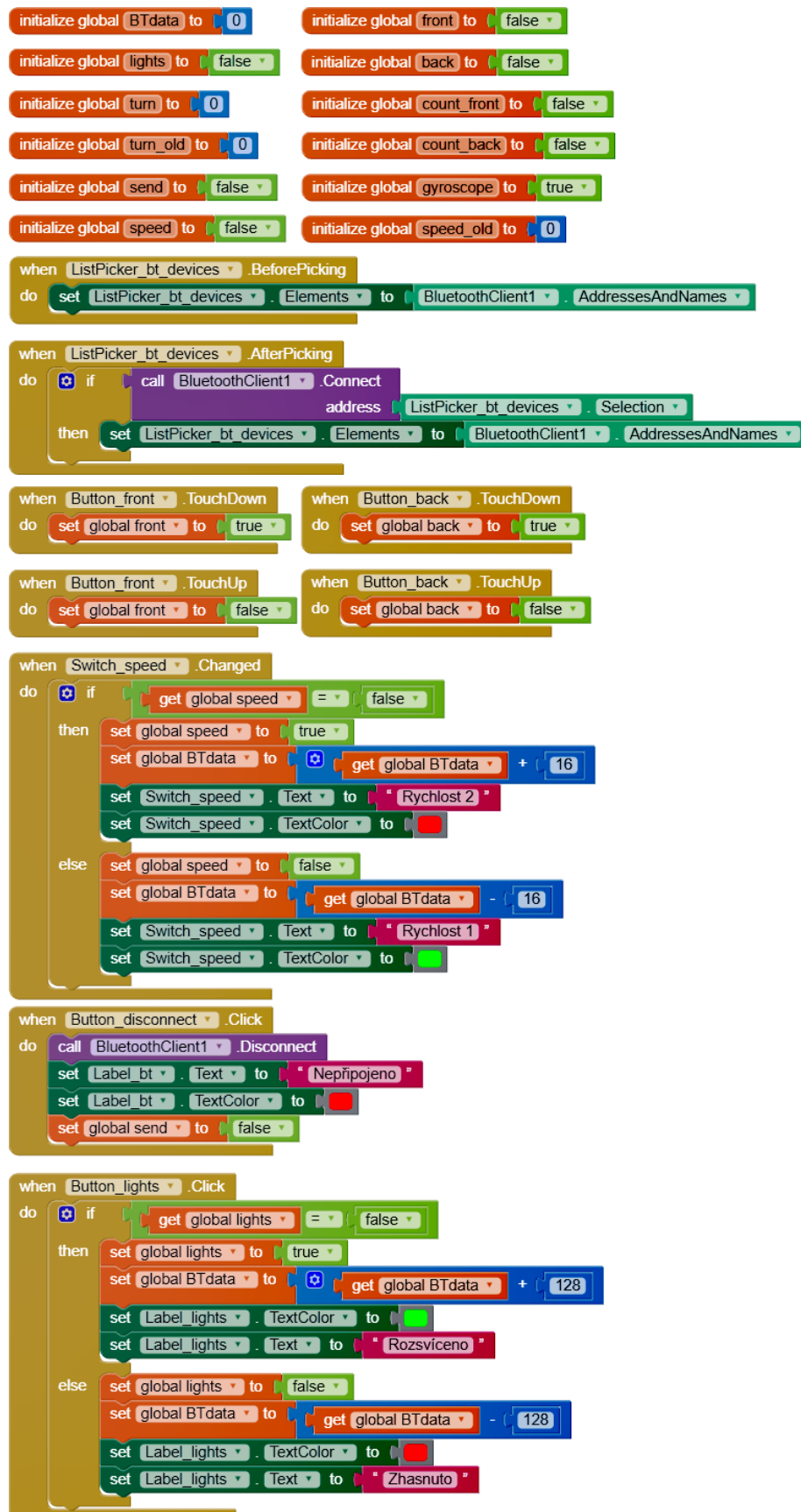
Dostupné jako externí soubor programu EAGLE s výrobními podklady na portálu www.vutbr.cz.



Příloha 3 – Vývojový diagram aplikace



Příloha 4 – Programová část aplikace





Příloha 5 – Aplikace pro OS Android

Dostupné jako externí instalační soubor .apk na portálu www.vutbr.cz.

Příloha 6 – Program pro mikrořadič ATMEGA 328P

Dostupné jako externí soubor programu Atmel Studio 7 na portálu www.vutbr.cz.

```
//CAR v 1.0
//RADIM KEJZLAR

//DEFINITION OF F CPU FOR DELAY
#define F_CPU 8000000

//STANDARD LIBRARIES FOR AVR FAMILY

#include <avr/io.h>

#include <util/delay.h>

#include <avr/interrupt.h>

//VARIABLES
volatile uint8_t BtData = 0, new_data = 0, error = 0, speed_dir = 0;

int main(void)
{
    //INIT
    DDRB = 0xFF;

    DDRC = 0xFF;

    DDRD = 0b11111110;

    //TIMER 0 INIC
    //NON-INVERTED OC0A, NON-INVERTED OC0B
    TCCR0A |= (1<<COM0A1)|(1<<COM0B1);
    //FAST PWM
    TCCR0A |= (1<<WGM01)|(1<<WGM00);
    //PRESCALLER F/64
    TCCR0B |= (1<<CS01)|(1<<CS00);

    OCR0A = 0;

    OCR0B = 110;

    //TIMER 1 INIT
    //NORMAL MODE
    TCCR1A = 0x00;
    //PRESCALLER F/256
    TCCR1B |= (1<<CS12);
    //INTERRUPT OF TCNT1 OVERFLOW ENABLE

    TIMSK1 |= (1<<TOIE1);
    //TCNT1 = 7813 = 0x1E85 // 0,5s

    TCNT1H = 0x1E;
```

```

    TCNT1L = 0x85;

    //USART INIT
    //RECEIVER, NO PARITY, RX ENABLE, RX INTERRUPT
    UCSR0B = (1<<RXCIF0)|(1<<RXEN0);
    //8-BIT SEND
    UCSR0C = (1<<UCSZ01)|(1<<UCSZ00);
    //9600baud
    UBRR0H = 0;

    UBRR0L = 51;
    //GLOBAL INTERRUPT ENABLE
    sei();

    //INIT OF BLDC MOTOR
    for(int x = 70; x < 180; x++)
    {
        OCR0A = x;
        _delay_ms(10);
    }

    /*-----*/
    //MAIN CYCLE
    while (1)
    {
        //WAITING FOR NEW DATA
        if(new_data)
        {
            speed_dir = BtData & 0b01100000;

            //DATA CAME
            error = 0;

            //SPEED DIRECTION SELECT

            //FRONT DIRECTION OF SPEED
            if((BtData & 0b01100000) == 0b01000000)
            {
                if(BtData & 0b00010000)
                    OCR0A = 200;
                else
                    OCR0A = 195;
            }

            //BACK DIRECTION OF SPEED

            else if ((BtData & 0b01100000) == 0b01100000)
                OCR0A = 80;
            else
                OCR0A = 0;

            //TURN DIRECTION SELECT

            if(BtData & 0b00001000)
                OCR0B = 110 + (9 * (BtData & 0b00000111));
        }
    }

```

```

        else
            OCR0B = 110 - (9 * (BtData & 0b00000111));

        //LIGHTS

        if(BtData & 0b10000000)
            PORTC = 0b00000011;
        else
            PORTC = 0b00000000;

        //DATA IS PROCESSED //WAITING FOR NEW DATA
        new_data = 0;
    }
}

//USART INTERRUPT CYCLE
ISR(USART_RX_vect)
{
    //NEW DATA CAME
    BtData = UDR0;
    new_data = 1;
}

//TIMER1 INTERRUPT CYCLE
ISR(TIMER1_OVF_vect)
{
    //TEST OF CONNECTION
    if(error == 1)
    {
        OCR0A = 0;
        OCR0B = 110;
        PORTC = PORTC & 0b11111100;
    }
    else
        error = 1;

    //TCNT1 = 7813 = 0x1E85 // 0,5s
    TCNT1H = 0x1E;
    TCNT1L = 0x85;
}

```

Příloha 7 – Návod

Dostupné jako externí soubor .pdf na portálu www.vutbr.cz.